

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



TESIS



**“DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C EN PULPA DE
MANGO (*Mangifera indica L.*) VARIEDAD HADEN Y PREDICCIÓN
MICROBIOLÓGICA DE VIDA ÚTIL MEDIANTE MODELO DE
GOMPERTZ”**

PRESENTADA POR:

CHIROQUE MENDOZA DAVID JOEL

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PIURA, PERU

2017

Tesis presentada como requisito para optar el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ASESOR:



Dr. ALFREDO LAZARO LUDENA GUTIERREZ

CO-ASESOR:



ING. CARMEN ZULEMA QUITO RODRIGUEZ

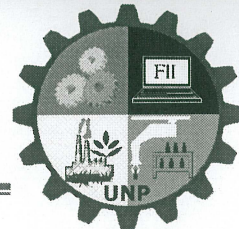
TESISTA:



DAVID JOEL CHIROQUE MENDOZA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador de la Tesis denominada: «**DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C EN PULPA DE MANGO** (*Manguífera indica L.*) **VARIEDAD HADEN Y PREDICCIÓN MICROBIOLÓGICA DE VIDA UTIL MEDIANTE MODELO DE GOMPERTZ**», presentado por el señor **DAVID JOEL CHIROQUE MENDOZA**, Bachiller de la Escuela Profesional en **Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias**, asesorado por el **Dr. ALFREDO LAZARO LUDEÑA GUTIERREZ**; reunidos para la sustentación de ésta y luego de escuchar su exposición y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran:



Con el Calificativo:

APROBADA

BUENO

En consecuencia el sustentante se encuentra **apto** para recibir el título profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**, conforme a Ley.

Piura, 08 de Junio del 2017


Dr. JUAN QUISPE NEYRA.
PRESIDENTE – JURADO CALIFICADOR


MSc. CORINA SANDOVAL MORALES
VOCAL – JURADO CALIFICADOR

ING. LUIS ALBERTO CALDERON PINEDO
SECRETARIO – JURADO CALIFICADOR

RESUMEN

Han sido muy pocos los estudios en relación a los efectos del procesamiento mínimo sobre la composición nutricional y potencial oxidante, esto último atribuido a componentes bioactivos tales como vitamina C y E, carotenoides y polifenoles, los cuales han sido fuertemente asociados a la prevención de ciertas enfermedades crónico-degenerativas. La presente investigación tiene como objetivo determinar la degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden y su predicción microbiológica del tiempo de vida útil utilizando el modelo Gompertz, la cual se obtuvo mediante modelos matemáticos con ayuda de pruebas aceleradas por efecto de la temperatura obteniéndose como resultado un orden de velocidad de reacción de $n=1$ (orden uno) en la pulpa de mango sin adición de conservantes. Considerando su aspecto microbiológico, se predijo su periodo de vida útil el cual dio como resultado 3.5 días a 4°C, y según las pruebas aceleradas el índice de madurez del mango fresco es de 26.53 y la temperatura de concentración disminuye la vitamina C, desde 14,6 mg a 6.2 mg en el caso de $T=85^{\circ}\text{C}$, aplicado en un sistema abierto. Se obtuvo mediante Arrhenius una pendiente de $E_a/R= 4496,6 \text{ J/mol}^{\circ}\text{K}$ y se comparó con la forma teórica. Se utilizó el diseño por bloques para determinar si existe efecto significativo entre los variables tiempo y temperatura en la degradación cinética de la vitamina C, en el cual se obtuvo que a mayor tiempo y temperatura la vitamina C sufre una mayor degradación. En conclusión las variables tiempo y temperatura tienen un papel muy importante en la degradación cinética de la vitamina C.

Palabras claves:

- Degradación térmica.
- Predicción microbiológica de periodo de vida útil.

ABSTRACT

There have been few studies on the effects of minimal processing on nutritional composition and oxidant potential, the latter attributed to bioactive components such as vitamin C and E, carotenoids and polyphenols, which have been strongly associated with the prevention of certain chronic degenerative diseases. The present research aims to determine the thermal degradation of vitamin C in mango pulp (*Mangifera indica* L.) Haden variety and its microbiological prediction of shelf life using the Gompertz model, which was obtained using mathematical models with help Of temperature-accelerated tests resulting in a reaction rate order of $n = 1$ (order one) in the mango pulp without addition of preservatives. Considering its microbiological aspect, its shelf life was predicted, which resulted in 3.5 days at 4 ° C, and according to the accelerated tests the fresh mango maturity index is 26.53 and the concentration temperature decreases vitamin C, since 14.6 mg to 6.2 mg in the case of $T = 85$ ° C, applied in an open system. An E_a / R slope was obtained by Arrhenius = 4496.6 J / mol ° K and compared with the theoretical form. The block design was used to determine if there is a significant effect between the time and temperature variables in the kinetic degradation of vitamin C, in which it was obtained that the vitamin C undergoes a greater degradation at a longer time and temperature. In conclusion the variables time and temperature have a very important role in the kinetic degradation of vitamin C.

Key words:

- Thermal Degradation.
- Microbiological Prediction of period of useful life.

ÍNDICE

Resumen

Abstract

Introducción

Objetivos

Capítulo I	Marco teórico.....	04
1.1	Marco referencial.....	04
1.1.1	Mango.....	04
1.1.1.1	Composición química y valor nutricional.....	04
1.1.1.2	Variedades.....	05
1.1.1.3	Calidad.....	07
1.1.2	Mango variedad Haden.....	09
1.1.3	vitamina C.....	10
1.1.3.1	Degradación de vitamina C en frutas y verduras.....	11
1.1.3.2	Métodos para cuantificar la vitamina C en alimentos.....	13
1.1.3.3	Métodos para la estimación de periodo de vida útil de los alimentos.....	18
1.2	Antecedentes.....	23
Capítulo II	Marco metodológico.....	26
2.1	Diseño de la investigación.....	26
2.2	Lugar de ejecución.....	27

2.3	Métodos y análisis de materia prima y producto final.....	31
2.4	Métodos de análisis microbiológico para la materia prima y para la pulpa final.....	32
2.5	Métodos para la estimación del periodo de vida útil de los alimentos.....	32
Capítulo III	Presentación y discusión de resultados.....	33
3.1	Análisis físico químico a la pulpa de mango (<i>Mangifera indica L.</i>) variedad Haden.....	33
3.2	Determinación del número de orden de reacción en las diferentes temperaturas.....	37
3.3	Aplicación del diseño estadístico.....	47
3.4	Análisis microbiológico a la pulpa de mango (<i>Mangifera indica L.</i>) variedad Haden.....	50
Conclusiones		
Recomendaciones		
Bibliografía		
Anexos.		

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
01 Composición del mango	05
02 Calidad del mango	08
03 Tres supuestos: orden cero, orden uno y orden dos	13
04 Diseño experimental	26
05 Análisis físico químico cada 100 gr de pulpa de mango	34
06 Número de orden de las muestras	35
07 Análisis físico químico a la pulpa de mango después del tratamiento térmico	36
08 Contenido de vitamina C (mg) en las muestras después del tratamiento térmico	37
09 Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 75 °C	38
10 Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 85 °C	39
11 Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 95 °C	40
12 Número de orden de reacción y R^2	44
13 Modelos y orden uno de reacción	45
14 Datos cinéticos	46
15 Diseño de bloques	47
16 ANOVA del diseño de bloques	48
17 Análisis físico químico de la pulpa de mango concentrada a 85 °C	49
18 Recuento microbiano de la pulpa de mango a diferentes temperaturas	50.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
01 Variedades de mango según el color	07
02 Mango variedad Haden	09
03 Diagrama esquemático de una medida espectrofotométrica	14
04 Reacción de oxidación-reducción del 2,6-diclorofenolindofenol y la vitamina C	16
05 Ácido ascórbico	18
06 Gráfica del crecimiento microbiológico	22
07 Diagrama de flujo	29
08 Mango Haden	33
09 Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción cero	41
10 Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción uno	42
11 Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción dos	43
12 Dependencia lineal de $\ln K$ respecto a $1/^\circ T$	46
13 Curva de crecimiento de microorganismos a $25\text{ }^\circ\text{C}$	51
14 Curva de crecimiento de microorganismos a $30\text{ }^\circ\text{C}$	52
15 Curva de crecimiento de microorganismos a $35\text{ }^\circ\text{C}$	53
16 Ecuación de Arrhenius: $\ln(\mu)$ & $1/T$	54.

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
01 Materia prima de mango variedad Haden	65
02 Pelado del mango	65
03 Pulpa de mango	66
04 Muestra de mango para determinar humedad	66
05 Determinación de cenizas en muestra de mango	67
06 Muestras de mango para determinar vitamina C	67
07 Muestra de mango para los análisis microbiológicos	68
08 Acidéz titulable en muestra de mango	68
09 Materia seca de la pulpa de mango	69
10 Muestras secas de mango	69
11 Cenizas de muestras de mango	70
12 Crecimiento de microorganismos a 25 °C y un tiempo de 5 min.	70
13 Crecimiento de microorganismos a 30 °C y un tiempo de 15 min.	71
14 Crecimiento de microorganismos a 35 °C y un tiempo de 20 min.	71
15 Muestra en condiciones de 25°C	72
16 Muestra en condiciones de 30°C	72
13 Muestra en condiciones de 35°C	73.

INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta exótica de origen Asiático que se caracteriza por ser de pulpa carnosa y tener un sabor muy dulce. Además, esta fruta es bajo en calorías y muy rica en ácidos, vitaminas C, vitaminas B5 y, especialmente, vitaminas A, las cuales la convierten en una fruta antioxidante, capaz de dotar al organismo de un poder defensivo en contra de la degradación de las células.

La presente tesis titulada: “Degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden y predicción microbiológica de vida útil mediante modelo de Gompertz”, se agrupó en capítulos.

El objetivo a seguir es determinar la degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden y predecir microbiológicamente el tiempo de vida útil utilizando el modelo Gompertz.

En el primer capítulo se encuentra el marco teórico, en el cual se habla sobre el mango, su composición nutricional, variedades de mango, vitamina C, degradación de vitamina C en frutas y verduras, métodos para cuantificar el contenido de vitamina C en diferentes alimentos y métodos para la estimación de periodo de vida útil de los alimentos. La disponibilidad de vitamina C es reducida significativamente durante el procesamiento de las frutas y hortalizas, por acción de la temperatura, el oxígeno, la luz, la presión, los iones metálicos, los azúcares reductores y el pH. Estudios cinéticos de la degradación térmica de este compuesto bioactivos en diferentes productos alimentarios revelan que responde a una cinética de primer orden (Bree et al., 2012).

En el segundo capítulo se encuentra el marco metodológico en el cual se habla sobre el diseño a utilizar, las etapas principales del flujo de proceso, métodos y análisis de materia prima y producto final y métodos para la estimación del periodo de vida útil de los alimentos. Los alimentos perecederos generalmente poseen una vida útil de 7 días, y esta vida útil está limitada en la mayoría de los casos por el decaimiento bioquímico o microbiológico (Tejedor, W. et al., 2000).

En el tercer capítulo encontramos los resultados y discusiones, los cuales se obtuvieron de manera cuantitativa después de ser sometidos a los procedimientos que se reflejan los objetivos planteados para esta investigación. Finalmente se presentan las principales conclusiones y recomendaciones de la tesis, esperando que con estas podamos obtener una mejora en el desarrollo de nuevos proyectos a futuro.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Determinar la degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden y predecir microbiológicamente el tiempo de vida útil utilizando el modelo Gompertz.

Objetivo específicos:

- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas en la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden, antes y después del tratamiento térmico.
- Determinar el contenido de vitamina C por efecto de la temperatura en la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden.
- Determinar el modelo cinético al que corresponde la degradación cinética de la vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden e identificar la influencia de la temperatura y tiempo aplicando la ecuación de Arrhenius.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Marco referencial

1.1.1. Mango

El mango es de variadas formas de acuerdo con el cultivo, que contiene un carozo duro. La pulpa (que es la parte comestible) puede ser firme o acuosa, con o sin fibras, de color amarillo o anaranjado y de sabor variable. Las variedades mejoradas presentan fibras más cortas en el carozo. La cascara del fruto es de un grosor variable. El peso del fruto a la madurez varía desde 100 gr hasta 2 kg por unidad (Minaya, A. C. 1999).

El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, jugoso y sabroso. El mango es también conocido como “melocotón de los trópicos” por su anaranjado color y agradable sabor. El fruto es rico en vitamina A y muy apreciado en los países tropicales. Se consume en fresco y con él se elaboran conservas dulces. El más fiable signo revelador de su madurez es su olor.

Cuando el fruto está maduro al ser presionado con los dedos cede fácilmente. Por su extraordinario sabor, aroma, color y textura resulta ideal para consumir solo, en macedonias, elaborar sorbetes, tartas y mermeladas, mezclar en ensaladas e incluso cocinar como condimento de carnes y pescados. Los mangos son laxantes y altamente nutritivos. También son una importante fuente de vitamina A y algo menor de B y C.

A. Composición química y valor nutricional

El fruto es rico en calcio, magnesio, potasio y fosforo, vitamina A y algunos aminoácidos, tal como se aprecia en el cuadro 1. Tiene además, bajo contenido en azúcares y calorías. Puede ser consumido en forma fresca y procesada. La industria lo utiliza como materia prima para la elaboración de jugos, pulpa, pasta o puré y conservas en almíbar (Minaya, A. C. 1999).

Cuadro. 1. Composición del mango

Composición (por 100 g de pulpa)	Unidad	Valor
Calorías	Cal	62.10 – 63.70
Agua	gr	78.90 – 82.80
Proteínas	gr	0.36 – 0.40
Grasa	gr	0.30 – 0.53
Hidratos de carbono	gr	16.20 – 17.18
Fibra	gr	0.85 – 1.06
Ceniza	gr	0.34 – 0.52
Calcio	mg	6.10 – 12.80
Fosforo	mg	5.50 – 17.90
Hierro	mg	0.20 – 0.63
Vitamina A	mg	0.135 – 1.872
Tiamina	mg	0.020 – 0.073
Riboflavina	mg	0.025 – 0.068
Niacina	mg	0.025 – 0.707
Ácido Ascórbico	mg	7.80 -17.2
Metionina	mg	3.00 – 6.00
Triptófano	mg	32.00 -37.00

Fuente: Senmache y Alban (2002)

B. Variedades

El mango es llamado en el hemisferio norte como “manzana de los trópicos” se considera actualmente como una de las frutas más finas en el mundo, existiendo una gran variedad de este (Senmache y Alban, 2002), entre las cuales se destacan las siguientes:

➤ **Variedad de color Roja: Edward, Haden, Kent, Tommy Atkins.**

- Kent: Esta variedad es de tamaño grande, pesando aproximadamente de 500 a 800 gramos, posee un color amarillo anaranjado adquiriendo en la madurez una chapa rojiza, es de forma ovalada orbicular, de agradable sabor, jugoso de poca fibrosidad y de alto contenido de azúcares (variedad semi-tardía).
- Haden: Es de tamaño medio grande, pesando aproximadamente de 380 a 700 gramos, adquiriendo en la madurez un color rojo–amarillo también con capa rojiza. Posee forma ovalada, de pulpa firme y de color y sabor agradable (variedad de media estación).
- Tommy Atkins: Posee un tamaño grande, pesando aproximadamente 600 gramos, posee una forma oblonga, oval, resistente a daños mecánicos y con mayor periodo de conservación pero no posee las mejores características en cuanto a sabor y aroma (variedad tardía).

➤ **Variedad de color Verde: Keitt, Amelia.**

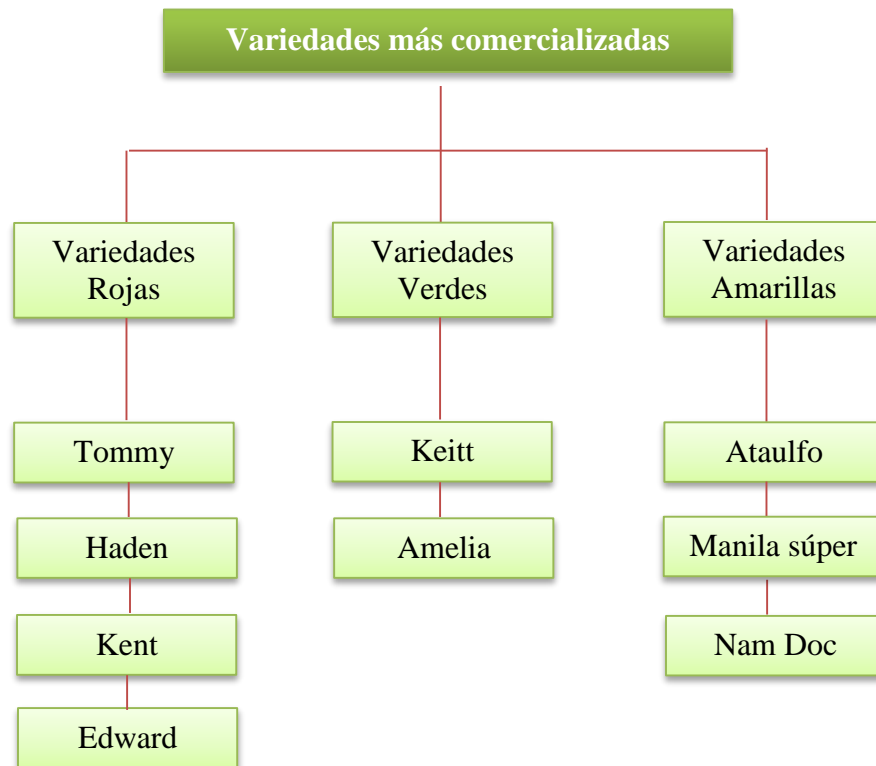
- Keitt: Posee un tamaño mediano grande, pesando aproximadamente 600 gramos, es de forma ovalada y posee una pulpa de poca fibrosidad, jugosa y muy firme.
- Amelia: Posee poco contenido de fibra.

➤ **Variedad Amarilla: Ataulfo, Manila súper, Nam Doc Mai.**

- Ataulfo: Posee un tamaño de pequeño a mediano, siendo bajo en fibra y principalmente desarrollado en México.
- Manila súper: Posee un tamaño pequeño pesando aproximadamente 10 gramos, tiene una forma aplanada y alargada, con un sabor fuerte, esta se produce principalmente en Filipinas.

- Nam Doc Mai: Es poco fibrosa y de semilla pequeña.

Figura. 1. Variedades de mango según el color



Fuente: Guerrero et al. (2012)

C. Calidad

El grado de desarrollo y el estado del mango, tanto, para el consumo fresco y el procesamiento industrial, debe cumplir con las siguientes características: (Guerrero et al., 2012).

➤ Características mínimas

- Enteros, con la forma característica de la variedad.
- De aspecto fresco y consistencia firme.
- Sanos, libres de ataque de insectos, o enfermedades que impidan el consumo.
- Limpios, exentos de olores, sabores o materias extrañas visibles.
- Libres de magulladuras profundas, humedad exterior anormal.

- Exentos de daño causado por variaciones de temperatura.
- Exentos de daños causados por plagas.
- Si los mangos tienen pedúnculo la longitud no será superior a 1 cm.
- El grado de desarrollo y el estado del mango deben permitir el transporte y manipulación de manera que llegue satisfactoriamente al lugar de destino.

Cuadro. 2. Calidad del Mango

Producto (actividad agropecuaria)	Aspectos que favorecen el desarrollo del producto en la región.	Principales desafíos para el desarrollo del producto en la región.	Estado actual de los servicios requeridos para el desarrollo del producto en la región.
Mango	<ul style="list-style-type: none"> • Clima • Agua • Mercado interno • Asistencia técnica • Calidad • Uso de reguladores • Manejo del cultivo • Estacionalidad • Suelos aptos para el cultivo • Plantas de tratamiento, almacenaje y comercialización. • Vías de comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Organización y productores • Herramientas de gestión • Valor agregado • Fortalecimiento de capacidades. • Mejoramiento de vías internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comercialización deficiente (canales). • Inestabilidad de precios (acopiadores terceros).

Fuente: Guerrero et al., (2012)

1.1.2. Mango variedad Haden

La variedad Haden fue obtenida en Florida (EEUU) a partir de la variedad "Mulgoba", por hibridación natural. La planta es de tamaño medio a grande, pudiendo alcanzar un desarrollo excepcional en lugares como "San Lorenzo" en Piura.

El fruto es grande, de forma ovalada-cordiforme y su peso varía entre 300 a 550 g. La cáscara es gruesa y representa en promedio del 7 al 15% del peso total, su color es amarillo y muy vistoso, con manchas rojas a ambos costados; la pulpa es jugosa, de color anaranjado amarillento, con reducida cantidad de fibra y ligero sabor a trementina que va desapareciendo conforme el fruto alcanza su madurez; la pulpa representa del 70 al 85% del peso del fruto, mientras que el carozo puede variar entre el 10 al 12% del peso total, es probablemente la fuente natural más rica de β - caroteno (precursor de la vitamina A) y contiene también cantidades apreciables de ácido ascórbico (Vitamina C) cuando en estado verde, el cual disminuye progresivamente con la maduración de la fruta (Quispe; 1988).

Figura. 2: Mango Variedad Haden



En el Perú la cosecha de los primeros frutos de mango “Haden” en el departamento de Piura puede realizarse a partir de la segunda quincena de noviembre. Sin embargo, el grueso de la cosecha sale en diciembre y enero. En Motupe y Olmos en el departamento de Lambayeque, es un poco más atrasado que en Piura. En Ica la cosecha comienza la segunda quincena de febrero, pudiendo prolongarse hasta marzo. En Huaral se cosecha a partir del mes de marzo y durante el mes de abril, culminando de esta manera la campaña de mango en Perú. (Peña; 2004).

1.1.3. Vitamina C

Bauerfeind and Pinkert (1974), indicaron que el ácido L-ascórbico, de seis carbonos, soluble en agua, compuesto cristalino blanco, se denomina comúnmente vitamina C o vitamina antiescorbútica; también es conocido como ácido L-xiloascórbico, ácido hexurónico o ácido cenitámico. Se encuentra en la naturaleza en todos los tejidos vivos en dos formas: reducido (L-ácido ascórbico) y oxidado (ácido dehidroascórbico).

Matthews, R. (1978) señaló que el ácido ascórbico total es la suma de ácido L-ascórbico, ácido L-dehidroascórbico con un valor vitamínico estimado en un 75% con respecto al anterior, ácido L-dicetogulónico sin actividad vitamínica, y que las frutas y vegetales frescos contienen en forma predominante ácido L-ascórbico. El término vitamina C reportado es la suma de valores de las dos formas: reducido, ácido L-ascórbico, y oxidado, ácido L-dehidroascórbico; en consecuencia, la degradación del ácido ascórbico total está relacionada con una disminución del contenido de vitamina C.

Potter, N. (1978), menciona que las principales responsabilidades del Científico y del tecnólogo de alimentos es de conservar los alimentos nutritivos a través de todas las fases de adquisición, procesamiento, almacenamiento y preparación de los alimentos. La estabilidad de las vitaminas en especial de la vitamina “C”, es inestable al pH neutro, al pH alcalino, al oxígeno o aire, la luz, color y es estable a un pH ácido; las pérdidas durante el procesamiento pueden ser de 0- 100%. En los EE.UU. la cantidad recomendada para el hombre adulto es de 70 mg/ día, unas fuentes excelentes de vitamina “C” son las frutas cítricas, los tomates, la col y los pimientos verdes.

Según Gaviria, D. (2014) la vitamina “C” es la principal de los frutos y legumbres, es soluble en agua y susceptible a oxidarse, particularmente en presencia de oxidasas o catalizadores metálicos, las pérdidas durante la conservación se originan principalmente por oxidación durante el tratamiento térmico, muchas legumbres y hortalizas retiene por los menos el 50 % del contenido de vitaminas “C” del producto crudo.

A. Degradación de la vitamina C en frutas y verduras

Según Eskin et al., (1971), el ácido ascórbico es un nutriente sensible al calor típico, es oxidado en soluciones acuosas por el oxígeno, con la influencia de oxidasas catalíticas y/o trazas de algunos metales. La oxidasa del ácido ascórbico está ampliamente distribuida en los tejidos de las plantas y cataliza la reacción hasta ácido dehidroascórbico, y una reacción estrechamente relacionada tiene lugar para la reacción directa del oxígeno del aire sin la mediación de la enzima. Las reacciones no enzimáticas de oxidación del ácido ascórbico juegan un papel importante en el empardeamiento de jugos de cítricos. La degradación es compleja; se ha reportado la identificación de diecisiete productos de descomposición. Una posible vía es desde ácido L-ascórbico, ácido dehidroascórbico, ácido 2,3 dicetohexurónico y por último a furfural más dióxido de carbono; en la que se cita a los compuestos más importantes.

Saguy et al., (1978), señalaron que la destrucción del ácido ascórbico puede seguir una ruta aeróbica o anaeróbica, y sumarian los factores que determinan la ruta y la velocidad de degradación, como temperatura, oxígeno, pH, catalizadores metálicos, enzimas, concentración de azúcares y aminoácidos.

Existen estudios que demuestran que la degradación del ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden. Entre ellos los trabajos de Waletzko y Labuza (1976), Saguy et al., (1978).

Sin embargo, se ha reportado que la cinética de primer orden es válida únicamente en los casos de degradación totalmente aeróbica o totalmente anaeróbica; en situaciones intermedias la reacción depende de las concentraciones de oxígeno y ácido ascórbico, según lo indicado por Singh et al., (1976).

Labuza (1982) presentó una recopilación de datos sobre la cinética de degradación del ácido ascórbico en varios alimentos. Señaló que la aplicación del modelo de Arrhenius permite comprender el efecto de la temperatura sobre la reacción. En adición, Saguy et al., (1978) reportaron valores típicos de la energía de activación para la degradación de vitaminas.

Johntone (1984), describe que en los análisis de vitamina “C”, se producen interferencias causadas por la presencia de compuesto fisiológicamente activos y otros fisiológicamente inertes, tanto la vitamina “C” propiamente dicha, como la forma parcialmente reducida, los métodos rutinarios con determinación de yodo o con 2,6 – diclorofenol indofenol , solo determina la forma reducida ; sin embargo, rinden buenos resultados, en los análisis de frutos y hortalizas e incluso en extracto de vegetales no sometidos a tratamiento térmicos.

Matemáticamente, para una reacción de primer orden, la velocidad de pérdida es:

$$- [d(A)/dt] = k(A_0)$$

La integración entre los límites de concentración {A₀} al tiempo 0 y concentración {A} al tiempo t, conduce a la ecuación:

$$\int d(A)/(A_0) = - \int k (dt)$$

$$\text{Ln} [(A)/(A_0)] = - kt$$

Que puede ser escrita en la forma siguiente:

$$\text{Log} (A) = - (kt/2,303) + \text{log} (A_0)$$

Siendo {A} la concentración luego de un tiempo t, k la constante de velocidad y {A₀} la concentración inicial.

El análisis anterior considera una temperatura constante. La parte dependiente de la temperatura es la constante de velocidad k.

Teóricamente k obedece la ecuación de Arrhenius, la cual establece que:

$$k = k' e^{- (EA)/R(TA)}$$

$$\ln k = - ((EA)/R(TA)) + \ln k'$$

Donde k es la constante de velocidad, (EA) es la energía de activación, R es la constante de los gases y (TA) es la temperatura absoluta, k' es una constante llamada factor de frecuencia.

Cuadro. 3. Tres supuestos: orden cero, orden uno y orden dos.

n=0	n=1	n=2
$\frac{d[A]}{dt} = -k$	$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$	$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2$
$[A]=[A]_0 - kt$	$\ln[A]=\ln[A]_0 - kt$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$

Fuente: Johntone (1984)

B. Métodos para cuantificar la vitamina C en alimentos

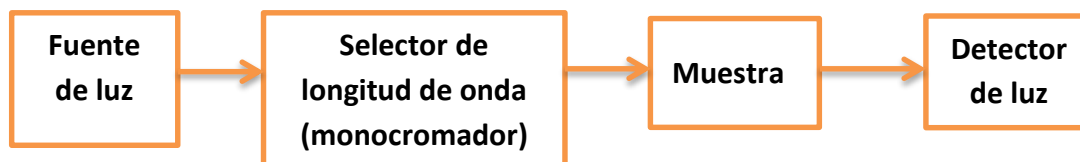
➤ **Espectrofotometría**

La determinación del ácido ascórbico por el método de espectrofotometría, se basa en la reducción del colorante 2-6 diclorofenol indofenol, por efecto del ácido ascórbico en solución. El contenido de ácido ascórbico es directamente proporcional a la capacidad de un extracto de muestra para reducir una solución estándar de colorante determinada espectrofotométricamente. La espectrofotometría es el conjunto de procedimientos que utilizan la luz para medir concentraciones químicas.

Zamudio et al., (2011), Mencionan que la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia - HPLC con Columna de intercambio iónico es apropiada para la

determinación del contenido de vitamina C; presentando valores más exactos debido a la eliminación de interferentes frente a la metodología de titulometría de Tillman, otra de las ventajas es que con HPLC se obtiene resultados más rápidos, lo que minimiza la degradación y oxidación de la vitamina C. Las mediciones espectrofotométricas son realizadas por medio de espectrofotómetros, que tiene una serie de componentes para identificar la absorbancia de la muestra a analizar.

Figura. 3. Diagrama esquemático de una medida espectrofotométrica



Fuente: Harry et al., (1991)

➤ El método volumétrico por Yodimetría

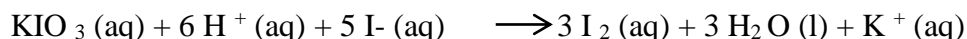
Para el cálculo de la masa del ácido ascórbico se debe tener una cantidad conocida del ácido ascórbico como patrón primario para la determinación en el Erlenmeyer que debe ser disuelto a volumen conocido de agua en un balón aforado para conocer su concentración (Ganong, 1980).

Cuando se complete la disolución del ácido ascórbico se le agrega aproximadamente 0,5-0,6 gramos de KI, 5-6 mL de 1 M HCl, y 3-4 gotas de solución de almidón al 0,5%. En la bureta se agregaron 25 mL de KIO_3 , y se debe iniciar la titulación. La solución de ácido ascórbico inicialmente es incolora, pero medida que se agrega el KIO_3 debe tomar una coloración azul, color característico del almidón cuando se utiliza como indicador en las titulaciones. Cuando el color sea azul oscuro y no cambie es definitivo para la determinación y se considera como el punto final de la titulación.

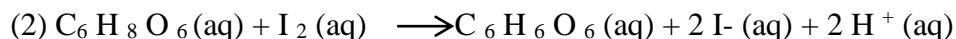
En este procedimiento deben tenerse en cuenta dos datos, la cantidad de ácido ascórbico disuelto y el volumen de KIO_3 gastado en la titulación, para a partir de ellos establecer la molaridad de la solución de análisis (Ganong, 1980).

El método volumétrico por Yodimetría permite establecer la cantidad de vitamina C ya que es una volumetría de óxido-reducción, entonces la vitamina C será la sustancia de carácter reductor y la solución de yodo el agente oxidante además de ser la solución patrón, razón por la cual primero se realiza su estandarización. Como indicador para el yodo se utilizará almidón, ya que como es un carbohidrato forma un complejo azul que permite reconocer el punto final de la titulación.

Cuando la vitamina C se haya agotado, es decir se haya oxidado totalmente, el yodo no desaparece sino que se une al almidón dando un color azul. Las reacciones que se presente en este procedimiento son:



Producción de I₂



Oxidación de la vitamina C

El yodato de potasio (KIO₃) en medio ácido (HCl) y en presencia de yoduro (KI), permite la formación del yodo (I₂) que es el que reaccionara con la vitamina C (C₆H₈O₆) presente en las frutas.

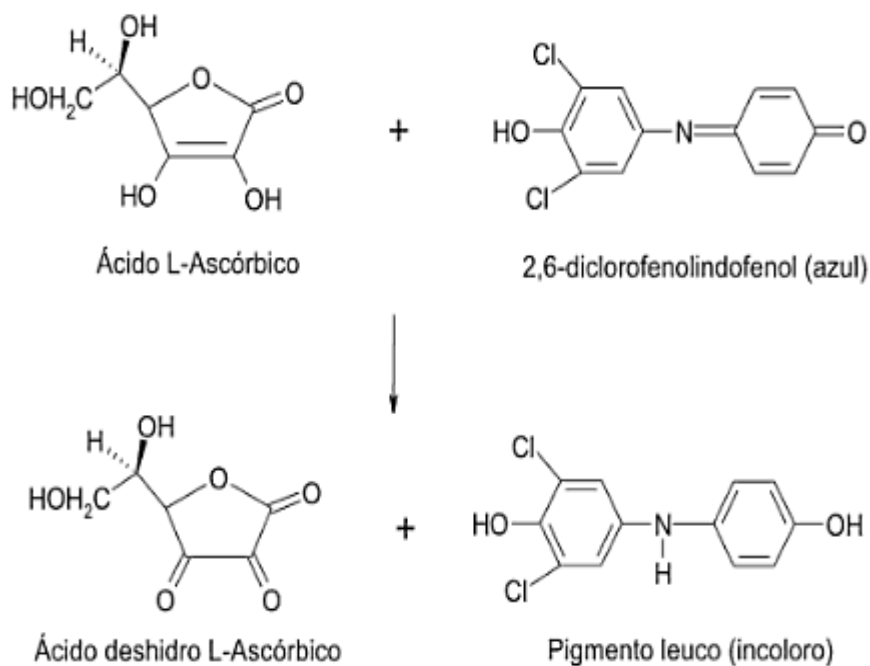
➤ Titulación con el agente oxidante 2,6-diclorofenol-indofenol

En productos alimentarios son variados los factores que influyen en la velocidad de degradación. Los metales que más aceleran este proceso son Cu⁺², Fe⁺³; la presencia del oxígeno; mayor degradación a pH cercanos a 4 y baja a pH 2.2, concentraciones de sales y azúcares, enzimas, aminoácidos, oxidantes y reductores (Ocampo R. et al., 2008).

En procesos de degradación de vitamina C en alimentos procesados, los estudios reportados indican que los productos finales son ácidos furfural y pigmentos oscuros formados con aminoácidos.

La oxidación de la vitamina C con el agente oxidante 2,6-diclorofenol indofenol (2,6-DFI) es uno de los procedimientos empleados para cuantificar a nivel de laboratorio. El 2,6 DFI es azul en su forma oxidada e incolora cuando se reduce (Ocampo R et al., 2008).

Figura 4. Reacción de oxidación-reducción del 2,6-diclorofenolindofenol y la vitamina C.



Fuente: Ocampo R et al., (2008)

El ácido ascórbico es oxidado por el colorante 2,6-diclorofenolindofenol a ácido deshidro-L-ascorbico. Al mismo tiempo, el colorante se reduce a un compuesto incoloro permitiendo determinar fácilmente el punto final de la reacción. (Ocampo R et al., 2008).

- **Método**

En un tubo de ensayo se vierten 1cc., de una muestra. Posteriormente se le añade una gota de 2-6 diclorofenol indofenol y observa el cambio de coloración que pasa del azul-violeta a rosa pálido acabando prácticamente incoloro.

La causa de esta pérdida de color se debe a que los átomos de hidrogeno de los carbonos unidos por un doble enlace se eliminan, transformándose en acido de-hidro-ascórbico que es la forma oxidada de la vitamina C, actuando el diclorofenol indofenol como dador de electrones (hidrógenos) y dando la forma reducida de colorante.

➤ **Método del azul de Metileno**

Debido a la facilidad con que cambia de color el azul de metileno (azul oxidado, blanco reducido) se utiliza comúnmente para la determinación de la vitamina C, esta vitamina cede electrones que capta el colorante y se pierde al típico color azul.

Se utilizó como colorante el azul de metileno-fenicado.

- **Método**

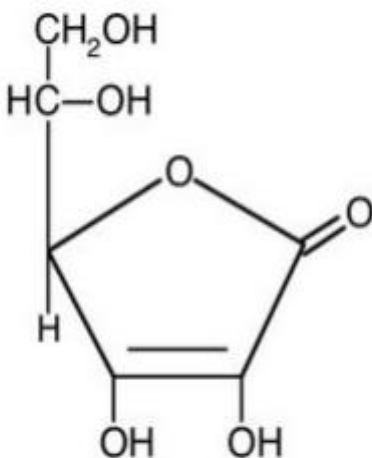
En un tubo de ensayo se vierten 2cc. de una muestra y se añade posteriormente una gota de azul de metileno-fenicado. En principio se observa un fuerte color azul que posteriormente desaparece y queda el color original a los pocos segundos. Si agitamos el contenido del tubo vuelve a aparecer el color azul y después volverá a cambiar el color a incoloro.

Como a todas las sustancias enzimáticas el calor altera sus propiedades, si además se utiliza conjuntamente el calor y diversos iones metálicos como el cobre o el hierro se pierde incluso su estructura. Si sometemos un tubo de ensayo con zumo de limón hasta la ebullición se destruye la vitamina C y dará negativa la prueba con azul de metileno lo cual demuestra que la vitamina C se ha destruido.

Igualmente se puede ensayar con el colorante diclorofenol-indofenol dando los mismos resultados, pero con el cobre los resultados son aún más eficaces.

Para realizar este ensayo se recomienda añadir unas gotas de una disolución concentrada de sulfato de cobre.

Figura 5: Ácido ascórbico



Fuente: Ocampo R et al., (2008)

C. Métodos para la estimación de periodo de vida útil de los alimentos

La preservación de los alimentos a través de los años ha sido necesaria para nuestra supervivencia. Las técnicas de preservación utilizadas en el pasado (salazón, secado, refrigeración, congelación ahumado, calentamiento entendido como cocción, conservación a bajas temperaturas y la fermentación) siguen siendo empleadas en conjunto con otros métodos en la actualidad, apoyados en el conocimiento que diferentes disciplinas científicas han aportado al desarrollo en este campo. Por otra parte, el objetivo que persiguen todos estos métodos es el de rendir un producto nutricionalmente bueno, con un alto nivel de inocuidad y que su vida útil sea prolongada (Tejedor, W. et al., 2000).

Los alimentos perecederos generalmente poseen una vida útil de 7 días, y esta vida útil está limitada en la mayoría de los casos por el decaimiento bioquímico o microbiológico (Tejedor, W. et al., 2000).

➤ **Pruebas de vida útil a tiempo real**

Para la determinación de la vida útil de un alimento deberán considerarse las variables microbiológicas, físico-químicas y sensoriales que mayor influencia tendrán sobre la calidad del producto.

En relación a la evaluación microbiológica se ha planteado toda una discusión sobre qué grupo de microorganismos deberían considerarse para la determinación de la vida útil, por un lado encontramos el empleo de los recuentos viables totales (aerobios o anaerobios mesófilos, psicrótrofos o psicrófilos) ya que este grupo se considera en microbiología de alimentos como un indicador del nivel de contaminación de un producto, sin embargo surge el planteamiento de la diversidad de especies que podrían en un momento puntual integrar este grupo y de cómo podrían cambiar de lote a lote, de un periodo de tiempo a otro, o dentro de un mismo proceso (Labuza, 1982).

Según Jawaheer, B. et al., (2003), plantea un estándar de valor máximo permitido el cual oscilaría de 10^6 ufc/ g o mL, es decir, que la vida útil microbiológica caducaría en cuanto se alcance este nivel de crecimiento en el producto final. Este recuento podríamos establecer que la vida útil microbiológica de un alimento cuantifique el crecimiento de microorganismos alterantes, y dentro de este grupo establecer cuál de las especies es la que mayor incidencia va a tener sobre la calidad final del producto.

➤ **Prueba de aceleración de la vida útil (ASLT)**

Esta técnica se basa en la aplicación de la cinética de la velocidad de Arrhenius, el cual establece que la velocidad de las reacciones químicas se duplica aproximadamente por cada 10°C de aumento de la temperatura. Sin embargo, antes de establecer una sentencia final sobre la validez o exactitud de predicción para una

aplicación particular, es necesario examinar una serie general de factores que influyen sobre la vida útil del producto. Estos incluyen:

- Propiedades estructurales / mecánicas de los alimentos.
- Propiedades extrínsecas tales como la temperatura, Humedad relativa, atmósfera gaseosa, etc.
- Características intrínsecas como el pH, aw, disponibilidad de nutrientes, potencial redox (Eh), presencia de antimicrobianos, etc.
- Las interacciones microbianas.
- Factores relativos al proceso de elaboración, mantenimiento y manipulación final.

➤ **Estimación de la vida útil microbiológica**

Como ha sido comentado en muchas revisiones, la microbiología predictiva de alimentos se constituye hoy por hoy en una herramienta valiosa para el sector agroindustrial, ya que permite obtener resultados en menor tiempo minimizando el uso de materiales de laboratorio, mano de obra, y reduciendo por tanto costos económico. Sin embargo, la microbiología tradicional aún sirve de apoyo a la microbiología predictiva. El modelamiento predictivo que integra el comportamiento microbiano con otras variables del proceso ha empezado a ganar interés en la industria agroalimentaria para predecir la vida útil (Dalgaard, P. et al., 2000).

Sin embargo, la determinación de la vida útil es un tema complejo como es difícil predecir los efectos de las variables de almacenamiento y las condiciones de abuso que un producto puede experimentar. La mayoría de los estudios han utilizado modelos dependientes de la temperatura, tales como el modelo de la raíz cuadrada o el modelo de Arrhenius, y si bien es cierto que con la mayoría de los alimentos la temperatura es el principal factor que afecta la vida útil (Dalgaard, P. et al., 2000).

De todas formas cabe recordar que los modelos de predicción microbiológica son en muchos casos generales y variados y por tanto pueden extrapolarse para la estimación microbiológica de la vida útil de diversos alimentos (p.ej. entre los más conocidos tenemos la función logística, el modelo modificado de Gompertz, el modelo de Baranyi, los modelos tipo Belehradek -raíz cuadrada-, los modelos polinomiales y de respuesta superficial, modelos tipo Arrhenius, etc.).

➤ **El modelo de Arrhenius (efecto de la temperatura sobre la velocidad de alteración)**

Las aproximaciones modernas de la microbiología predictiva de alimentos han tratado de entender y establecer un vínculo entre el crecimiento de microorganismos y los factores que regulan el crecimiento tales como la temperatura, pH, actividad de agua, potencial redox, etc. La gran mayoría de los modelos secundarios son modelos de tipo cinético (Labuza et al., 1993). La forma más simple de esta ecuación es:

$$k = A e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Donde, k es la velocidad de reacción; A {(ufc/ml, g o cm³)/tiempo} es un factor pre exponencial parámetro a ser determinado (intercepto de “y” en una gráfica de Ln k vs 1/T) –, R es la constante de los gases ideales (8.314 KJ/Kg°K o 1,987 cal/°Kmol), T es la temperatura absoluta (°K), y Ea (KJ/Kg) es denominada como la energía de activación de la reacción límite de velocidad-crecimiento (McMeekin and Ross, 2002).

Si en la ecuación anterior los valores de k son calculados a diferentes temperaturas y si el “ln k” es graficado contra “1/T”, puede obtenerse una línea recta en la cual la pendiente (m) es igual –Ea/R (Labuza and Riboh, 1982).

Cuando el modelo de Arrhenius es empleado para evaluar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento microbiano, entonces k se transforma en la velocidad de crecimiento específico según Suntornsuk, L. et al., (2002), y la ecuación de Arrhenius puede escribirse como:

$$\mu = A e^{\frac{-E_{\mu}}{RT}}$$

Sin embargo, el crecimiento bacteriano es complejo y las extrapolaciones de las gráficas pueden no mostrar linealidad, por lo tanto, la ecuación anterior no puede encajar muy bien por debajo de los datos óptimos o por encima de las temperaturas mínimas para el crecimiento.

➤ Modelo Matemático de Gompertz

$$YA = a * \exp(-\exp(b - c * TA))$$

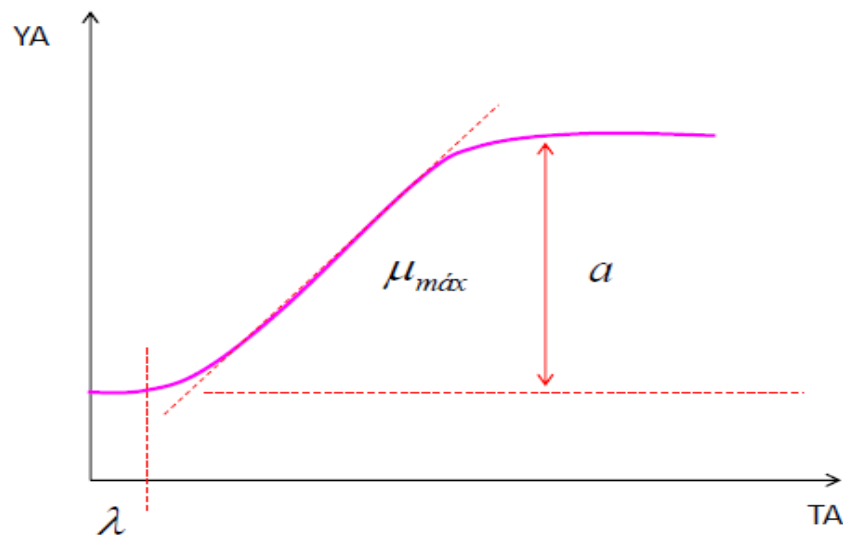
a = Población de Microorganismo

b y c = Parámetro biológico

YA = Relación de microorganismos

TA = Tiempo

Figura 6. Gráfica del crecimiento microbiológico



Fuente: Elaboración propia

1.2. Antecedentes

Ordeñez et al., (2013), en su artículo denominado **Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava L.*)**, presenta el objetivo de evaluar la cinética de degradación de la vitamina C en frutos de guayaba, en un rango de temperaturas de 75-95 °C. El método usado fue de llevar las rodajas de guayaba de 0.53 cm de grosor x 6.10 cm de diámetro se sometieron a los tratamientos térmicos (75,85 y 95 °C durante 10, 20, 30, 40 minutos) en una marmita enchaquetada a presión atmosférica, la concentración de vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento térmico se determinó por el método del 2,6- diclorofenol-indofenol. Donde obtuvieron como resultado que después de someter a tratamientos térmicos (75-95 °C), la concentración de la vitamina c en los frutos de guayaba disminuyo entre 56, 70-60%, y su velocidad de degradación y energía de activación fueron: $K=0.80-1.45 \text{ min}^{-1}$ ($R^2>0.90$) y $E_a= 7.57 \text{ Kcal/mol}$, respectivamente. Donde los autores concluyeron que la concentración de vitamina C medida en los frutos de guayaba después de los tratamientos térmicos presento una reducción al incrementar la temperatura y el tiempo del proceso, y los parámetros cinéticos de este antioxidante se ajustaron a una cinética de primer orden y a la ecuación de Arrhenius.

Acevedo et al., (2004), en su artículo denominado **Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico**, tuvo como objetivo proveer información cinética sobre el efecto que produce el tratamiento térmico sobre la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos. Se realizaron tratamientos térmicos en tres niveles de temperatura, 70, 80 y 90°C y tiempos no mayores a 180 minutos. Se colocó 10,00 g de jugo de cada pool en vasos de precipitados de 100 mL, los cuales se cubrieron por un film de polietileno para minimizar la variación de masa debido a la pérdida de agua de la muestra por efecto de la temperatura, los que fueron colocados en un baño termostático $\pm 0,05 \text{ °C}$.

Para cada tiempo de reacción se extrajeron tres muestras las que fueron sumergidas en baño de hielo; se restituyó la masa inicial por agregado de agua destilada, se centrífugo 10 minutos a 3500 r.p.m., se filtró a través de algodón y se realizó la dilución apropiada

(1+3) para todos los jugos, excepto lima Rangpur. Se determinó la actividad antioxidante hidrosoluble con el test de DPPH. Se presenta el resultado en el cual se observa un descenso de la actividad antioxidante hidrosoluble para jugos de naranja, mandarina y limón a las temperaturas ensayadas, respectivamente. Los jugos de pomelo y lima Rangpur presentan un comportamiento similar. La degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble en todos los jugos ensayados Sigue una ley cinética de orden cero. Se concluyó:

- Se encontró el siguiente orden de contenido inicial de componentes antioxidantes:
Naranja > mandarina > pomelo > limón > lima Rangpur.
- La disminución de la capacidad antioxidante hidrosoluble de los cinco jugos responde a una cinética de orden cero.
- Los valores de la energía de activación indican una mayor sensibilidad a la temperatura en el caso del jugo de mandarina.

Miranda L. y Castillo P. (2001), en su artículo denominado **Cinética de la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá**, el cual tiene como objetivo determinar si las pérdidas de vitamina C durante la elaboración industrial de jugo concentrado y congelado de maracuyá, sobrepasan o no los valores teóricos. Se realizó el experimento tomando en consideración cuatro temperaturas y cinco tiempos de estudios para cada una de ellas. El método más apropiado para realizar el experimento es el de Roe y colaboradores, el cual consiste en someter a tratamientos térmicos el jugo de maracuyá, durante su procesamiento para la elaboración de jugo concentrado y congelado de maracuyá.

En donde la temperatura favorece a la conversión de ácido L-ascórbico a ácido dehidroascórbico, por lo que es necesario determinar el ácido ascórbico total. Los resultados obtenidos muestran que el ácido ascórbico es relativamente termoestable del proceso, provocando pérdidas totales del 24-29% en los procesos A y B.

Se concluyó que el contenido de vitamina C en el jugo de maracuyá se encuentra entre 14 y 18 mg/100 g. la calidad nutricional del producto final (jugo de maracuyá concentrado a 50 Brix y congelado) no es considerada debido a que algunos productores suelen confundirse en la concentración de vitamina C en el producto final; esto es consecuencia que como se encuentra concentrado, su contenido aumenta de 100-120%. Según el estudio durante el proceso de elaboración de jugo concentrado y congelado de maracuyá, la degradación de la vitamina C no depende de la temperatura y tiempo de exposición.

Tomando en cuenta todos los factores como la temperatura, ausencia de aire, adecuada inactivación de la enzima ascórbico oxidasa, ausencia de trazas de cobre en el equipo de proceso y buen diseño de la línea pueden lograrse condiciones de trabajo bajo las cuales la pérdida de vitamina C se reduzca al mínimo.

CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. El Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue experimental debido a que se basa en ensayos que se realizaron en el laboratorio, manipulando las variables de estudio. Se consideró el tiempo y la temperatura como dos factores importantes en el proceso de cinética de degradación térmica en la pulpa de mango de variedad haden. Se experimentó a diferentes temperaturas de 75; 85; 95 °C a partir de tres kilos de pulpa de mango de variedad Haden a utilizar. El tiempo de degradación y la vitamina “C” se determinaron en el diseño experimental de Bloques Completos, a un nivel de significación de 0,05.

Variables del modelo de Bloques completos:

- Variable tratamiento = tiempo de degradación.
- Variable bloque = temperatura de degradación.
- Variable de respuesta = concentración de vitamina.

Cuadro. 4. Diseño experimental

Tiempo/ T°	75 °C	85 °C	95 °C
0	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
10	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
20	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
30	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
40	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
50	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)
60	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)	vitamina C (mg)

Elaboración propia

Luego estos datos fueron usados para realizar la ecuación de Arrhenius, con la que se pudo identificar a que modelo de orden de reacción cinético corresponde, los valores de energía de activación y los coeficientes de regresión lineal.

2.2. Lugar de ejecución.

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de Zootecnia de la Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Agroindustrias e Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería Industrial y Laboratorio de Microbiología de la Facultad de ciencias de la Universidad Nacional de Piura.

2.2.1. Equipos y Materiales.

A. Equipos y materiales a utilizar:

- Baño María
- PH metro
- Refractómetro
- Termómetro
- Equipo de titulación
- Estufa ADVANTEC (50 °C a 300 °C)
- Refrigeradora
- Climacell (Climatizador)
- Balanza Analítica
- Autoclave AQtrol
- Contador de colonias
- Cocina Semi-industrial
- Mufla Thermuleyne (Máximo 1200 °C).
- Cámara digital
- Potenciómetro
- Selladora
- Bolsas de polietileno

B. Materia Prima, Herramientas e Insumos

➤ Materia prima:

- Mango (*variedad Haden*)

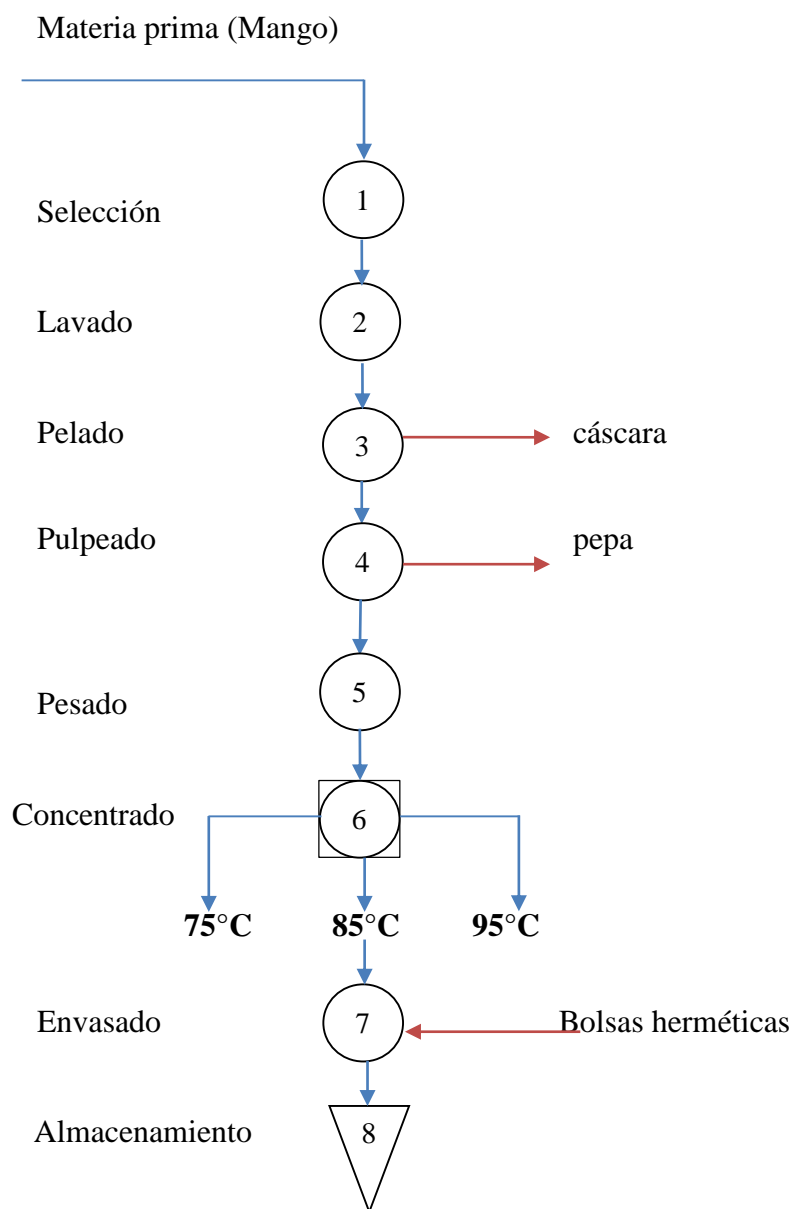
➤ **Herramientas e insumos:**

- Ollas
- Baldes
- Cuchillos
- Tabla de picar
- Agua destilada
- Cucharas
- Envases de vidrio con tapa
- Tubos de ensayo
- Soluciones: Agar (análisis microbiológico)
- Asa de Drigalsky (siembra)
- Bureta de titulación
- Probetas
- Pipetas
- Placas Petri
- Vasos precipitados
- Mecheros
- Probeta para medir densidad
- Termómetro
- Alcohol
- Cronómetro
- Plumón indeleble

➤ **Procedimiento:**

Se elaboró la curva de degradación cinética de la vitamina C teniendo en cuenta las variables tiempo y temperatura de concentración que fue sometida la pulpa de mango. Estas operaciones se realizaron con buenas prácticas de manufactura teniendo en cuenta la higiene y sanidad de la materia prima.

Figura. 7. Diagrama de flujo



Elaboración propia

➤ **Etapas principales del proceso**

- **Mango:** Es la materia prima que se utilizó, la cual es el mango de variedad Haden.
- **Selección:** Se tiene el fruto (mangos) sanos, libres de: agrietas, golpes y que no estén sobre madurados.
- **Lavado:** La fruta se lavó muy intensamente porque están cubiertas de tierra por la forma de su cosecha y el transporte.
- **Pelado:** La fruta fue pelada de manera manual con un cuchillo de acero inoxidable. En donde se procedió a separar la cáscara, haciendo cortes no muy gruesos para evitar eliminar parte de la pulpa.
- **Pulpeado:** En esta etapa la fruta se Pulpeó manualmente con ayuda de un cuchillo inoxidable en donde se procedió a separar la pulpa del mango de la pepa.
- **Pesado:** Se pesó 3 kilos de pulpa de mango para realizar los análisis físico-químicos, microbiológicos correspondientes antes y después del proceso y la determinación de vitamina C (mg) en los rangos de tiempo y temperaturas planteadas.
- **Concentrado:** Después de concentrar la pulpa la cual fue sometida a diferentes temperaturas (75, 85 y 95 °C) y tiempos (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos), e inmediatamente se aplicó el método 2,6 – diclorofenol indofenol a cada muestra para obtener las cantidades de vitamina C (mg) que poseen y los análisis correspondiente.
- **Envasado:** Se envasó las muestras en bolsas herméticas de polietileno para prolongar su conservación.
- **Almacenamiento:** las muestras son almacenadas en refrigeración para que no pierdan sus propiedades organolépticas y no se deterioren.

2.3. Métodos y Análisis de materia prima y producto final

A. Métodos a analizar a la materia prima (pulpa de mango)

- Determinación de Humedad; método a peso constante, según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Sólidos Solubles; haciendo uso del refractómetro según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Cenizas; método de incineración, según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Acidez; método de acidez titulable según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de pH; método potenciométrico según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Vitamina C; método 2-6-diclorofenolindofenol; según el método de AOAC (2000).

B. Métodos a analizar a la pulpa final

- Determinación de Humedad; método a peso constante, según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Sólidos Solubles; haciendo uso del refractómetro según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Cenizas; método de incineración, según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Acidez; método de acidez titulable según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de pH; método potenciométrico según el manual de tecnología de alimentos de UNALM (2010).
- Determinación de Vitamina C; método 2-6-diclorofenolindofenol; según el método AOAC (2000).

2.4. Método de análisis microbiológico para la materia prima y para la pulpa final

- Determinación de hongos y levaduras; según el manual de microbiología UNP (2010).

2.5. Método para la estimación del periodo de vida útil de los alimentos

Se determinó a una temperatura de 4°C el período de vida útil de la pulpa de mango que fue sometida al tratamiento térmico de 85 °C (orden uno), empleando pruebas aceleradas a tres temperaturas (25, 30 y 35 °C) durante 30 minutos. Para el cálculo de la vida útil pueden emplearse varios modelos predictivos; entre ellos el modelo de Gompertz y la ecuación de Arrhenius.

Se utilizó el modelo de Gompertz con ayuda del conteo microbiano cada 5 minutos a diferentes temperaturas (25, 30 y 35 °C), para luego obtener los parámetros a y b; los cuales serán usados por el modelo matemático de Gompertz, utilizando el software Statistica versión 7.0.

- Modelo Matemático de Gompertz:

$$YA=a*\exp(-\exp(b-c*TA))$$

a = Población de Microorganismo

b y c = Parámetro biológico

YA = Relación de microorganismos

TA = Tiempo

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis físico químico a la pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Haden

El mango es una fruta grande, de forma ovalada-cordiforme y su peso varía entre 300 a 550 g. La cáscara es gruesa y representa en promedio del 7 al 15% del peso total, su color es amarillo y muy vistoso, con manchas rojas a ambos costados como se observa en la figura. 8. ; la pulpa es jugosa, de color anaranjado amarillento, con reducida cantidad de fibra y ligero sabor a trementina que va desapareciendo conforme el fruto alcanza su madurez; la pulpa representa del 70 al 85% del peso del fruto, mientras que el carozo puede variar entre el 10 al 12% del peso total, es probablemente la fuente natural más rica de β -caroteno (precursor de la vitamina A) y contiene también cantidades apreciables de ácido ascórbico (Vitamina C) cuando está en estado verde, el cual disminuye progresivamente con la maduración de la fruta.

Figura. 8. Mango haden



En el Cuadro. 5. se muestra el índice de madurez (SS/Ac) de 26.53. Este parámetro es muy importante ya que durante el proceso de maduración, los sólidos solubles aumentan y los ácidos orgánicos disminuyen.

Estos dos procesos son independientes y están regulados por factores diversos entre ellos, genéticos y ambientales. Al disminuir la acidez titulable, se influye en la relación SS/AC que varía durante la temporada.

3.1.1. Análisis físico químico a la pulpa de mango

Se determinó el contenido de: humedad 80.29 %, sólidos solubles 16 °Brix, cenizas 2.70 %, acidez expresado en ácido cítrico que es 0.6030 %, un pH de 4.74 y el contenido de vitamina C que es de 14.6 mg. Comparando estos datos obtenidos con los propuestos por Senmache y Alban (2002), se observa que la vitamina C se encuentra en el rango establecido por esta fuente.

En el Cuadro. 5. Se muestran los datos obtenidos del análisis físico químico a la materia prima (*Mangifera indica L*), antes de someterla al proceso de concentración en diferentes temperaturas y tiempos.

Cuadro. 5. Análisis físico químico cada 100 gr de pulpa de mango

Componentes	Valor
Humedad %	80.29
Sólidos solubles (SS)	16
Cenizas %	2.70
Acidez (exp. ácido cítrico) %	0.6030
pH	4.74
Vitamina C en mg/100gr	14.6
Índice de madurez Relación: (SS/Acidez).	26.53

Elaboración propia

Del mismo cuadro 5, la vitamina C de la pulpa de mango es 14.6 mg, similar a la vitamina C en la piña que es 14.99 mg, según FAO (2010).

En el Cuadro. 6. Se observa el número de orden de las muestras que fueron sometidas a tratamiento térmico. Las muestras, 4, 7, 10, 13, 16, y 19, fueron sometidos a 75 °C, las muestras 2,5,8,11,14,17 y 20 a 85 °C y las muestras 3,6 9,12,15 a 95 °C.

Cuadro. 6. Número de orden de las muestra

Tiempo(min) / T°	75 °C	85 °C	95 °C
0	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
10	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
20	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9
30	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12
40	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15
50	Muestra 16	Muestra 17	Muestra 18
60	Muestra 19	Muestra 20	Muestra 21

Elaboración propia

El cuadro. 7. Se muestran los resultados de humedad (%), sólidos solubles (SS), cenizas (%), acidez (%) e IM (SS/acidez) obtenidos de las muestras que fueron sometidas a tratamiento térmico a diferentes temperaturas y tiempos.

Cuadro 7. Análisis físico químico cada 100 gr de pulpa después del tratamiento térmico.

Muestras /componentes	Humedad (%)	Sólidos solubles (SS)	Cenizas (%)	Acidez (%)	pH
Muestra 1	80.29	16.0	2.7	0.6030	4.74
Muestra 2	80.29	16.0	2.7	0.6030	4.74
Muestra 3	80.29	16.0	2.7	0.6030	4.74
Muestra 4	81.15	18.5	2.28	0.5696	4.82
Muestra 5	82.36	20.5	2.15	0.5024	4.93
Muestra 6	83.27	23.0	2.03	0.4685	4.90
Muestra 7	83.30	21.5	1.93	0.5024	5.49
Muestra 8	84.09	23.0	1.84	0.4352	5.67
Muestra 9	84.31	26.5	1.73	0.3680	5.47
Muestra 10	88.96	24.5	1.82	0.4672	5.64
Muestra 11	86.88	26.5	1.79	0.3686	5.69
Muestra 12	90.85	29.0	1.68	0.3008	5.71
Muestra 13	88.54	30.5	1.66	0.4032	5.70
Muestra 14	86.82	34.0	1.64	0.3328	5.70
Muestra 15	90.36	38.5	1.58	0.2016	5.72
Muestra 16	86.70	34.5	1.53	0.2688	5.73
Muestra 17	86.72	39.5	1.57	0.3008	5.74
Muestra 18	90.14	43.5	1.46	0.1677	5.79
Muestra 19	91.44	41.0	1.38	0.2624	5.78
Muestra 20	90.07	46.5	1.42	0.2336	5.79
Muestra 21	90.51	49.5	1.22	0.1568	5.82

Elaboración propia

En el Cuadro. 8. Se observa el contenido de vitamina C en las distintas muestra que fueron sometidas a tratamiento térmico en temperaturas (75, 85, 95 °C) y tiempos (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos) diferentes, los cuales fueron procesados para obtener el orden de la cinética de degradación.

Según Miranda L. y Castillo P. (2001), mencionan que el ácido L-ascórbico tiene una acción reversible a ácido ascórbico y que este último es muy estable a la acción del calor y los factores que aceleran esta reacción de oxidación son el oxígeno del aire, la presencia de luz, los álcalis, presencia de metales y la temperatura.

Cuadro. 8. Contenido de vitamina C (mg/100gr) en las muestras después del tratamiento térmico

Tiempo/ T°	75 °C	85 °C	95 °C
0	14.6 mg	14.6 mg	14.6 mg
10	13.3 mg	12.3 mg	11.9 mg
20	12.7 mg	11.2 mg	10.3 mg
30	10.6 mg	9.5 mg	9.3 mg
40	9.1 mg	8.7 mg	8.1 mg
50	8.3 mg	7.2 mg	6.4 mg
60	7.7 mg	6.2 mg	5.1 mg

Elaboración propia

3.2. Determinación del número de orden de reacción en las diferentes temperaturas.

Se determinó el número de orden de reacción cinético de la vitamina C, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos a una temperatura de 75, 85 y 95 °C.

Cuadro. 9. Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 75°C

Análisis/Minutos	0	10	20	30	40	50	60
Segundos	0	600	1200	1800	2400	3000	3600
Vitamina C, (mg) [A]	14.6	13.3	12.7	10.6	9.1	8.3	7.7
Ln[A]	2.68102153	2.58776404	2.54160199	2.36085400	2.20827441	2.11625552	2.04122033
1/[A]	0.06849315	0.07518797	0.07874016	0.09433962	0.10989011	0.12048193	0.12987013

Elaboración propia

Cuadro. 10. Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 85 °C

Análisis/Minutos	0	10	20	30	40	50	60
Segundos	0	600	1200	1800	2400	3000	3600
Vitamina C, (mg) [A]	14.6	12.3	11.2	9.5	8.7	7.2	6.2
Ln[A]	2.68102153	2.50959926	2.41591378	2.25129180	2.26332303	1.97408103	1.82454929
1/[A]	0.06849315	0.08130081	0.08849558	0.10526316	0.11494253	0.13888889	0.16129032

Elaboración propia

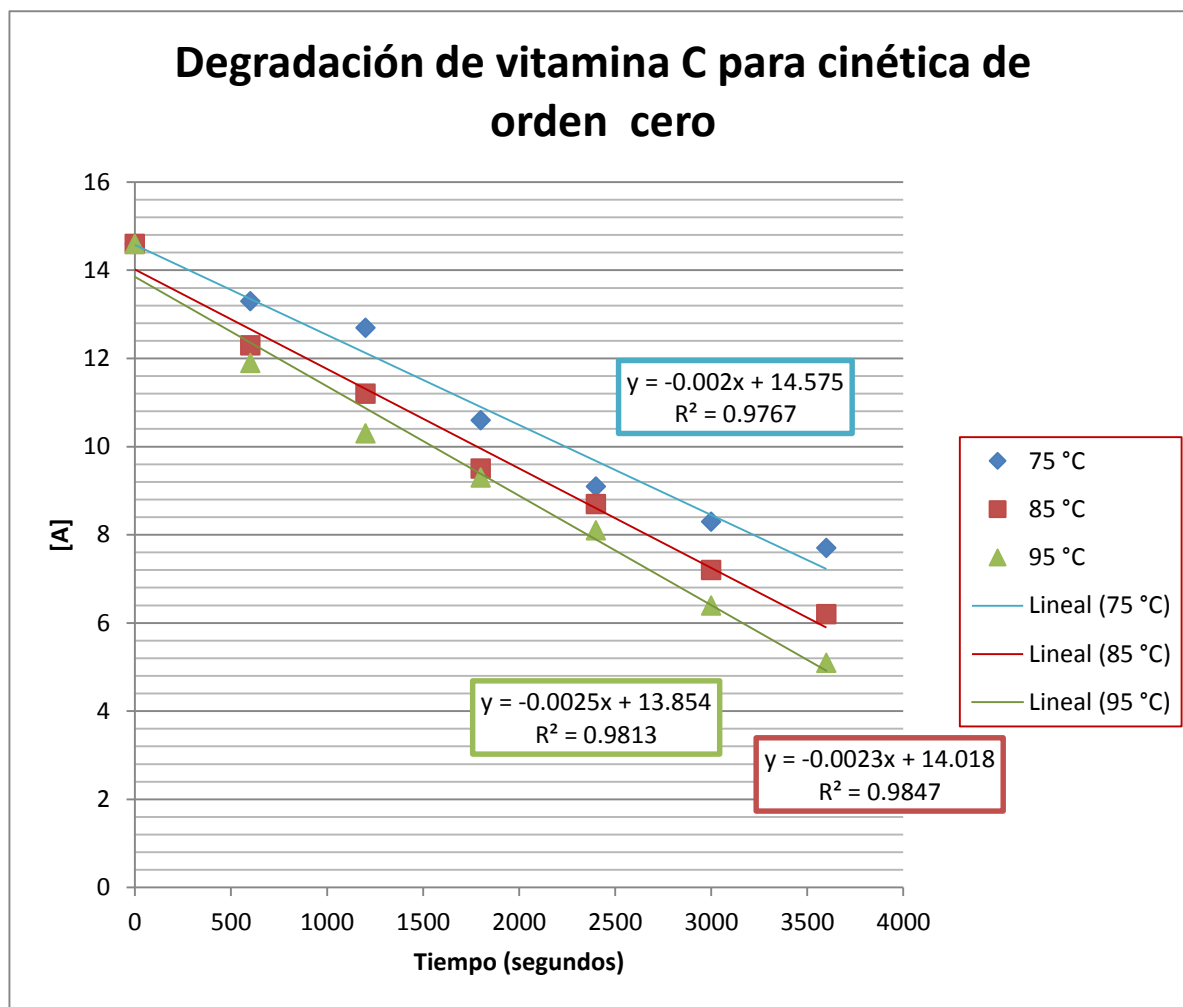
Cuadro. 11. Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 95 °C

Análisis/Minutos	0	10	20	30	40	50	60
Segundos	0	600	1200	1800	2400	3000	3600
Vitamina C, (mg) [A]	14.6	11,9	10.3	9.3	8.1	6.4	5.1
Ln[A]	2.68102153	2.47653840	2.33214390	2.2300144	2.09186406	1.85629800	1.62924054
1/[A]	0.06849315	0.08403361	0.09708738	0.10752688	0.12345679	0.15625000	0.19607843

Elaboración propia

Se grafican los valores obtenidos de los cuadros. 9, 10 y 11, ubicando en el eje X el tiempo (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 segundos) de exposición de la pulpa de mango a pasteurización y en el eje Y el valor [A] de cada temperatura (75, 85 y 95 °C).

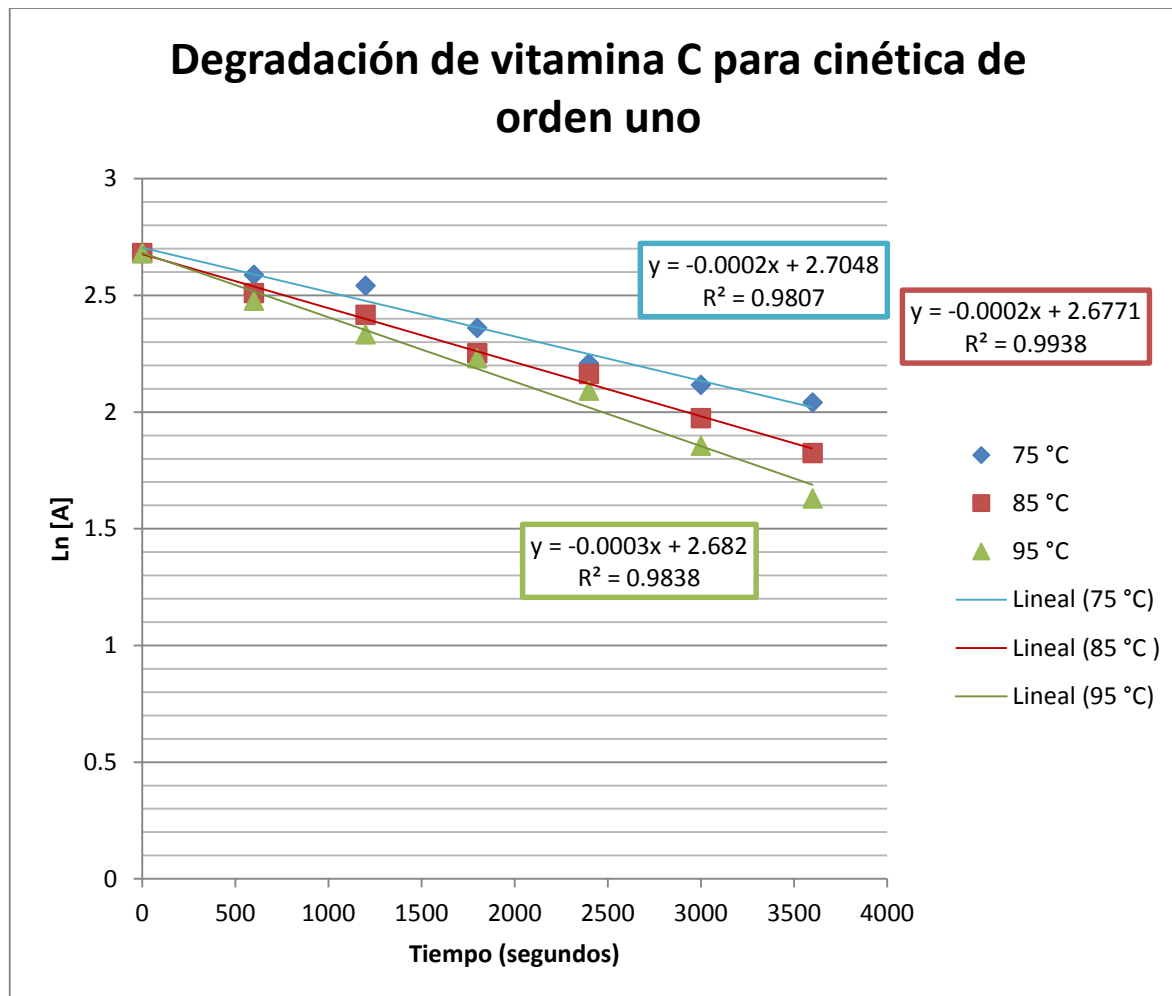
Figura. 9. Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción cero



Elaboración propia

La regresión lineal que se muestra en la figura. 9, indica que no se ajusta a las temperaturas estudiadas para que sea una cinética de degradación de orden cero.

Figura 10. Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción uno.

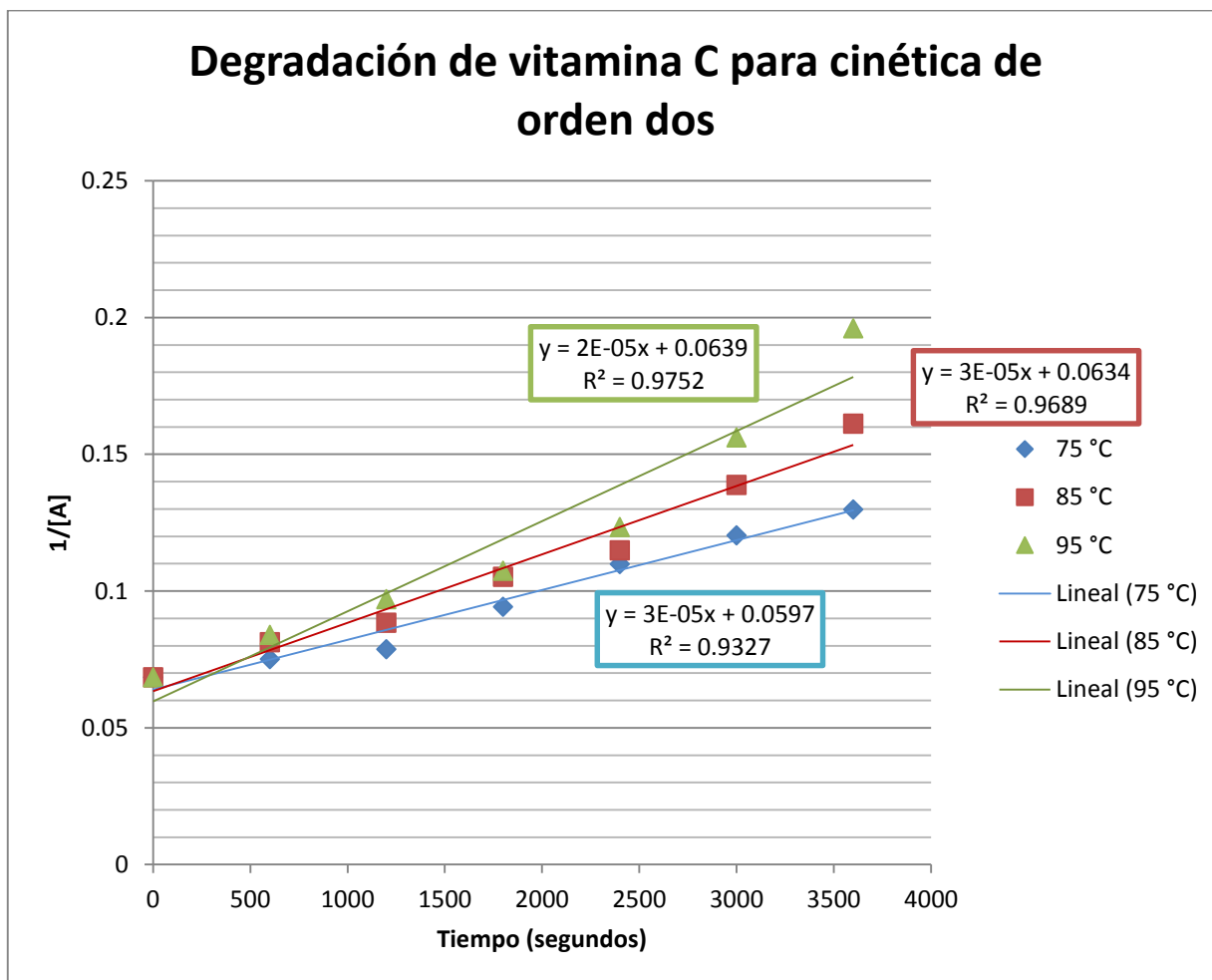


Elaboración propia

En la figura. 10, la regresión lineal mostró que el mejor ajuste a las tres temperaturas estudiadas corresponde con una cinética de degradación de orden uno ($n=1$), ver cuadro 11, lo que coincide con lo reportado por varios autores Waletzko y Labuza (1976), Saguy et al., (1978), y que la constante aparente de velocidad de degradación del ácido ascórbico aumenta en la medida que aumenta la temperatura. Gallardo (2014), muestra la tendencia de la degradación de la vitamina C, en uva concentrada, cuando el número de orden es 1 ($n=1$), dando un coeficiente de regresión lineal de 0,9931.

Según Ordoñez, et al., (2013) La degradación térmica de este antioxidante en los frutos de guayaba responde a una cinética de degradación de primer orden, tal como se evidencia en los coeficientes de regresión mayores de 0,90. Según Miranda L. y Castillo P. (2001), indica que la ecuación que rige a la degradación térmica de las vitaminas es de orden 1, cumpliéndose con lo que demostramos.

Figura. 11. Cinética de degradación de vitamina C en orden de reacción dos.



Elaboración propia

La regresión lineal que se muestra en la figura. 11, indica que no se ajusta a las temperaturas estudiadas para que sea una cinética de degradación de orden dos.

Cuadro. 12. Número de orden de reacción y R^2

Número de orden	Temperatura	Ecuación	R^2
0	75	$y=-0.002x+14.575$	0.9767
	85	$Y=0.0023x+14.018$	0.9847
	95	$Y=00.0025x+13.854$	0.9813
1	75	$Y=-0.0002x+2.7048$	0.9807
	85	$Y=-0.0002x+2.6771$	0.9938
	95	$Y=0.0003x+2.682$	0.9838
2	75	$Y=3E-05x+0.0634$	0.9327
	85	$Y=3E-05x+0.0597$	0.9689
	95	$Y=2E-05x+0.0639$	0.9752

Elaboración propia

El cuadro. 12, se presenta el resumen de la ecuación de cada efecto de temperatura respecto a la degradación de la vitamina C, con su tendencia lineal y su coeficiente de determinación, mostrando la ecuación de ajuste a la recta de regresión, seleccionando el número de orden de reacción de degradación de la vitamina C, a $n=1$.

Cuadro. 13. Modelos y orden uno de reacción

T/°C	Ecuación de la resta de linealización	Orden de reacción	Ajuste R ²	Constante cinética de velocidad K
75	$\ln \frac{C}{C_0} = -Kt$	UNO	0.9807	0.76x10 ⁻⁴
85	$\ln \frac{C}{C_0} = -Kt$	UNO	0.9938	1.07x10 ⁻⁴
95	$\ln \frac{C}{C_0} = -Kt$	UNO	0.9838	1.38x10 ⁻⁴

Elaboración propia

Con los valores obtenidos de la constante aparente de velocidad de degradación de la vitamina C se realizó una gráfica para obtener el valor de la energía de activación térmica, debido a la influencia de la temperatura en la reacciones de degradación estudiadas, por tal razón se relaciona la energía de activación mediante una constante de velocidad de reacción de acuerdo a la ecuación de Arrhenius.

$$k = k' e^{-(EA)/R(TA)}$$

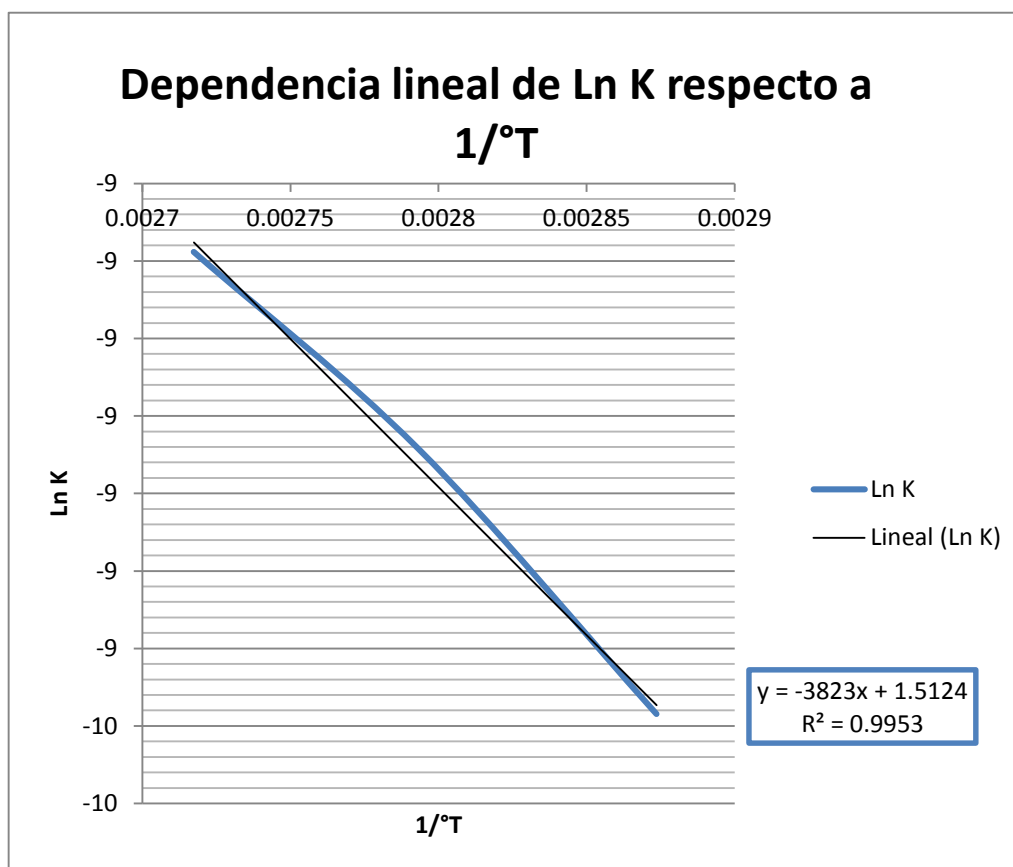
La resolución de esta expresión nos permita graficar los logaritmos naturales de las constantes cinéticas de primer orden en función del inverso de las temperaturas de la reacción (figura. 12.) determinándose el valor de la energía de activación mediante la pendiente de esta recta.

Cuadro. 14. Datos cinéticos

T° (K)	Constante de degradación K (seg ⁻¹)	Ln K	1/°T
348	0.76x10 ⁻⁴	-9.48477722	0,0028736
358	1.07x10 ⁻⁴	-9.14268172	0,0027933
368	1.38x10 ⁻⁴	-8.8825687	0,0027139

Elaboración propia

Figura. 12. Dependencia lineal de Ln K respecto a 1/°T



Elaboración propia

La constante de velocidad de degradación para el concentrado de pulpa de mango es $K=1.5124 \cdot e^{-3823x}$, según la ecuación de Arrhenius, el valor del $\ln k$ varía frente a $1/T$ según una línea recta. La pendiente de ésta es $-E_a/R$, tras despejar, obtenemos el resultado de la energía de activación para la reacción de degradación, igual a 31,7844kJ/mol k.

3.3. Aplicación del diseño estadístico

Se aplicó el diseños de bloques para lograr que el error experimental sea lo más pequeño posible, substrayendo la variabilidad producida en este caso por la temperatura y el tiempo en el proceso de degradación cinética de la vitamina C en la pulpa de mango variedad Haden.

Los resultados de los experimentos se dan en el siguiente cuadro.15.

- Variable tratamiento = tiempo de degradación.
- Variable bloque = temperatura de degradación.
- Variable de respuesta = concentración de vitamina.

Hipótesis:

$H_0: u_i = u_j$ (las medias de los tratamientos y bloques afectan a la investigación).

$H_1: u_i \neq u_j$ (las medias de los tratamientos y bloques no afectan a la investigación).

Cuadro. 15. Diseño de bloques

Tiempo/ T°	75 °C	85 °C	95 °C	Y _i
0	14.6 mg	14.6 mg	14.6 mg	43.8
10	13.2 mg	13.4 mg	12.2 mg	38.8
20	12.7 mg	11.2 mg	10.3 mg	34.2
30	11.6 mg	10.2 mg	9.5 mg	31.3
40	10.0 mg	8.4 mg	7.9 mg	26.3
50	8.4 mg	7.2 mg	6.3 mg	21.9
60	6.2 mg	5.8 mg	4.6 mg	16.6
y _j	76.7	70.8	65.4	y _{..} =212.9

Elaboración propia

Cuadro. 16. ANOVA del diseño de bloques

FV	SS	GL	MS	F ₀		F _(α; 6, 12)
Tratamientos	181.62	6	30.27	123.55	>	3.00
Bloques	9.13	2	4.565	18.63	>	3.00
Error	2.94	12	0.245			
Total	193.69	20				

Elaboración propia

El valor $F_{(\alpha; 6, 12)}$, se obtuvo de tablas estadísticas con un nivel de significancia del 5%.

Como $F_0=123.55 > F_{(\alpha; 6, 12)}=3.00$ y $F_0=18.63 > F_{(\alpha; 6, 12)}=3.00$ se rechaza la hipótesis H_0 .

- Existe efecto significativo entre las medias de los tratamientos, por lo tanto existe efecto significativo del tiempo sobre la degradación cinética de la vitamina C en pulpa de mango de variedad Haden.
- Existe efecto significativo entre las medias de los bloques, por lo tanto existe efecto significativo de la temperatura sobre la degradación cinética de la vitamina C en pulpa de mango de variedad Haden.

Cuadro. 17. Análisis físico químico cada 100 gr de pulpa de mango Concentrada a 85°C

Componentes	Valor
Humedad %	90.07
Solidos solubles (SS)	46.5
Cenizas %	1.42
Acidez (exp. ácido cítrico) %	0.2345
pH	5.79
Vitamina C en mg/100gr	6.2

Elaboración propia

Del cuadro. 17. Se observa la vitamina disminuida a 6.2 mg por tiempo de exposición y temperatura a 85°C, Gallardo (2014), indica que la muestra sometida a 85°C, obtuvo al final 0.9 mg de vitamina C, mayor que la muestra a 100°C, que fue de 0.05 mg de vitamina C en el caso de uva concentrada, esta diferencia se pueda deberse al tiempo de exposición diferente que se aplica a cada proceso de concentración .

3.4. Análisis microbiológicos a la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Haden

Cuadro. 18. Recuento microbiano de la pulpa de mango a diferentes Temperaturas

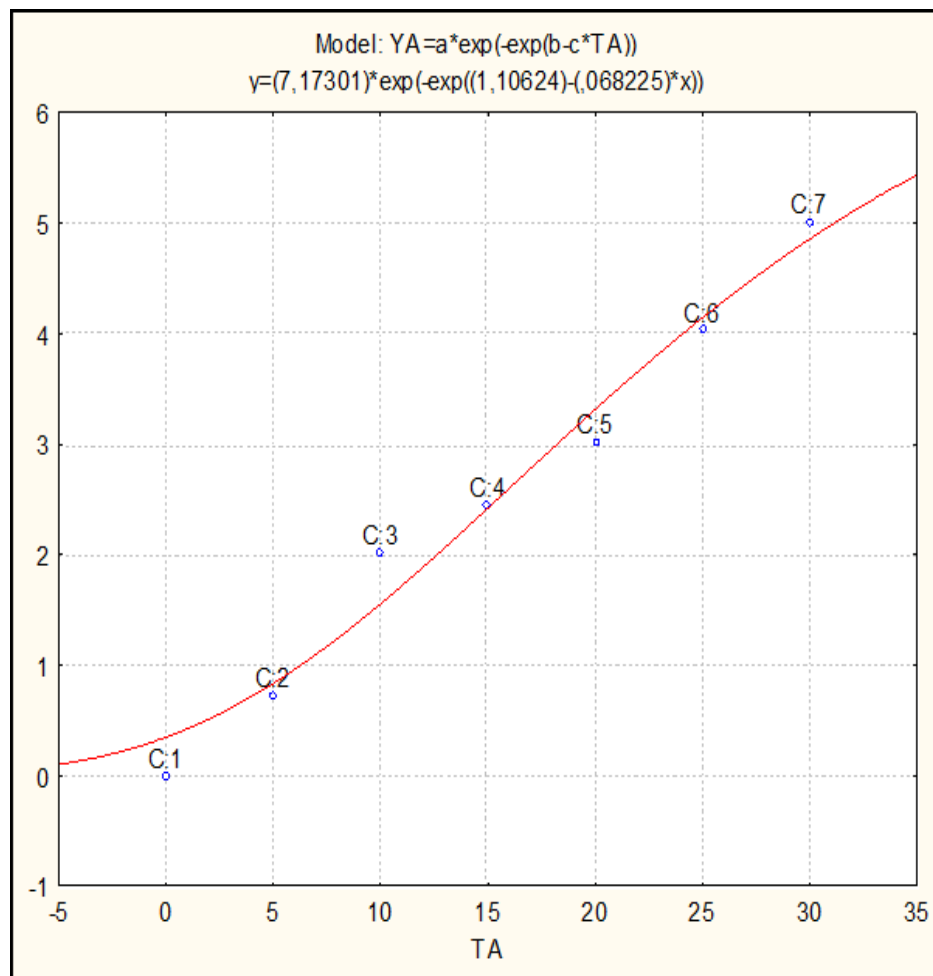
T°	25°C			30°C			35°C		
	Tiempo(min)	N ufc/ml	Log(N/No)	Tiempo(min)	N ufc/ml	Log(N/No)	Tiempo(min)	N ufc/ml	Log(N/No)
	0	95	0	0	95	0	0	95	0
	5	526	0,74326214	5	1234	1,113591554	5	9023	1,97762735
	10	10253	2,03312735	10	23456	2,392530348	10	78634	2,91788676
	15	26789	2,4502329	15	123456	3,113788596	15	876543	3,96504962
	20	100234	3,02329146	20	2004060	4,324187115	20	29345678	5,48982054
	25	1029871	4,03505922	25	35432181	5,571674281	25	590654390	6,79360983
	30	9876521	5,01688039	30	68763444	5,859634015	30	998765432	7,0217399
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	7,173007	1,106236	0,068225	7,093424	1,146052	0,095774	8,407655	1,024893	0,094918
u _{max} =	0,48937492			0,67936768			0,79804147		
Lnu _{max}	-0,71462638			-0,3865928			-0,2255947		
1/T	0,0033557			0,00330033			0,00324675		

Elaboración propia

El cuadro. 18. Muestra el conteo microbiano cada 5 minutos, a diferentes temperaturas, para luego obtener los parámetros a y b; los cuales serán usados por el modelo matemático de Gompertz, utilizando el software Statistica versión 7.0.

La figura. 13, muestra la curva de crecimiento de los microorganismos del cuadro. 18., donde se puede observar la fase de latencia y la fase log, como la ecuación matemática del modelo Gompertz con los parámetros a 25°C. La fase lag o de adaptación es cuando los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (de abundancia de nutrientes) para poder iniciar el crecimiento exponencial, según Labuza et al., (1993),

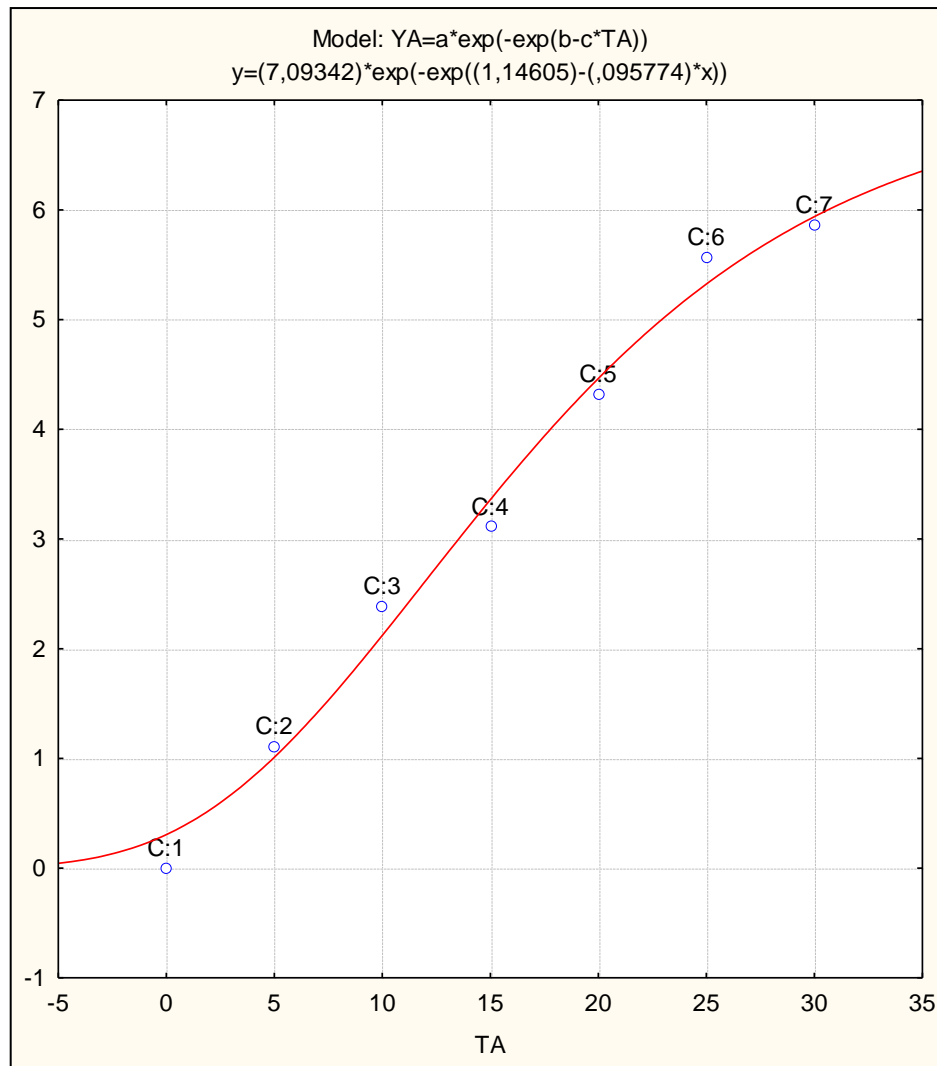
Figura 13. Curva de crecimiento de microorganismo a 25°C



Elaboración propia

En la figura. 14, se muestra la fase log o fase exponencial o logarítmica, según Labuza et al., (1993), en ella la velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen los nutrientes del medio a velocidad máxima. La evolución del número de células durante esta fase se explica con el modelo matemático descrito anteriormente. Esta fase corresponde a la de infección y multiplicación dentro del organismo del agente infeccioso.

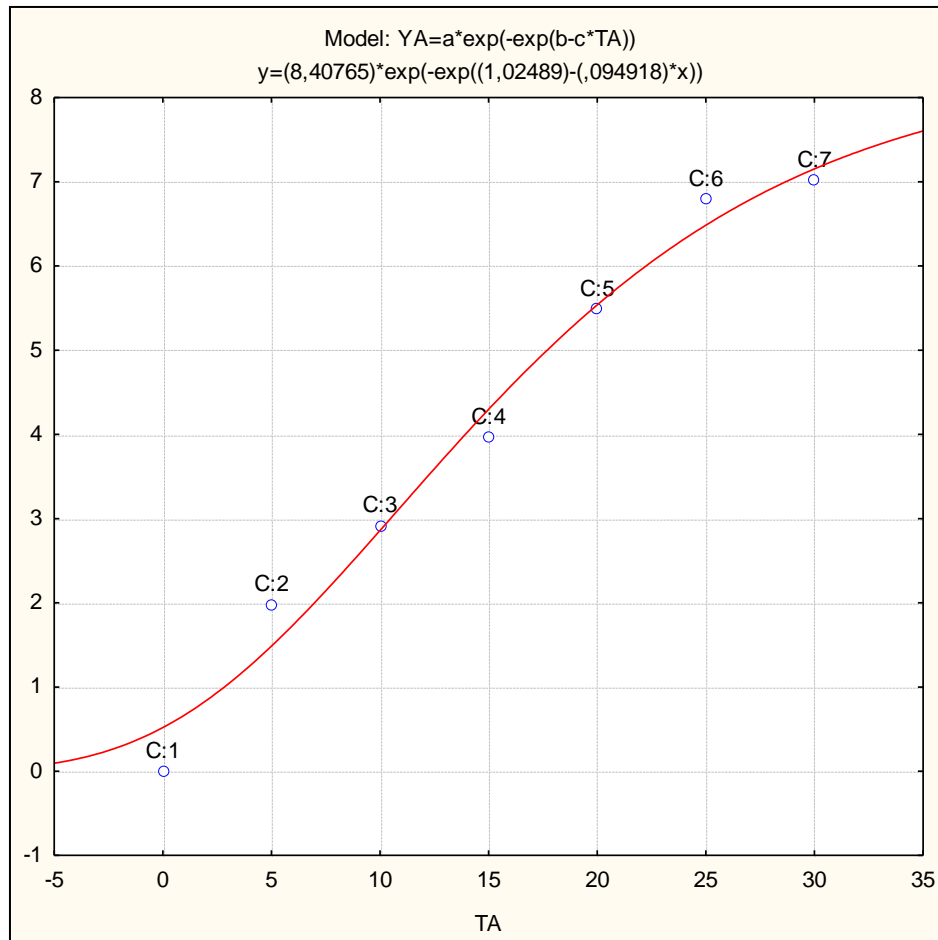
Figura. 14. Curva de crecimiento de microorganismo a 30°C



Elaboración propia.

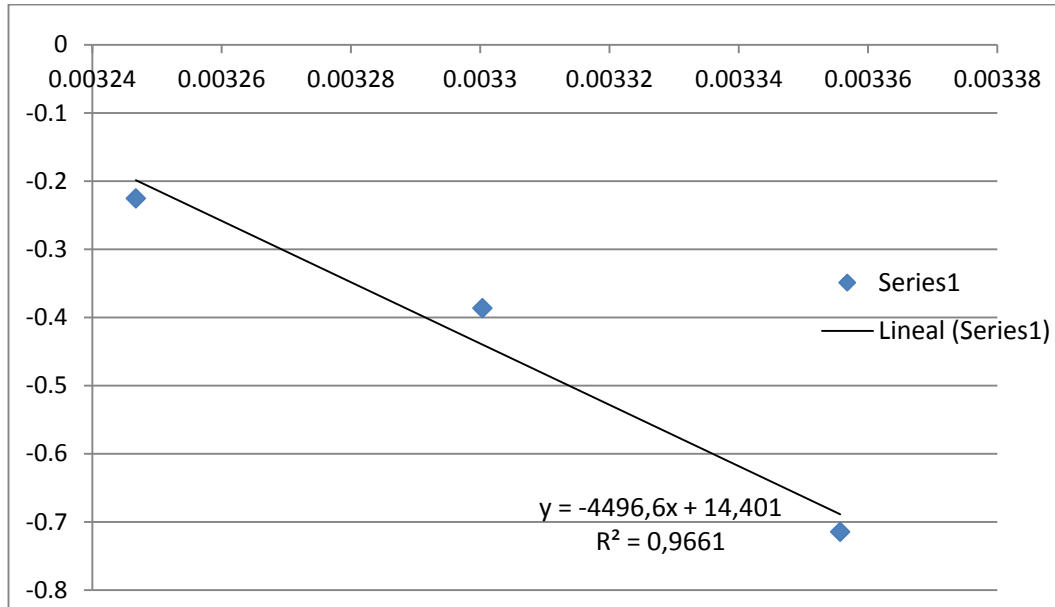
La figura. 15, muestra la curva de crecimiento de microorganismo a 35°C, según Labuza et al., (1993), indica que cada microorganismo tiene una temperatura de crecimiento adecuada. Si consideramos la variación de la velocidad de crecimiento en función de la temperatura de cultivo, podemos observar una temperatura mínima por debajo de la cual no hay crecimiento; a temperaturas mayores se produce un incremento lineal de la velocidad de crecimiento con la temperatura de cultivo hasta que se alcanza la temperatura óptima a la que la velocidad es máxima. Por encima de esta temperatura óptima, la velocidad de crecimiento decae bruscamente y se produce la muerte celular.

Figura. 15. Curva de crecimiento de microorganismo a 35°C



Elaboración propia

Figura. 16. Ecuación de Arrhenius: Ln (μ) & 1/T



Elaboración propia

En la figura. 16. Se muestra una tendencia lineal con un $R^2=0,9661$ de la ecuación de Arrhenius, obteniendo una energía de activación de 37384.7 KJ/Kg, sabiendo que la constante de los gases (R) es igual 8.314 KJ/Kg°K.

$$\ln \mu = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln \mu = 14,401 - 4496.6/T$$

$$E_a = 37384.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$\ln A = 14,401 \text{ ufc/cm}^3$$

➤ Estimación de vida útil a diferentes temperaturas

- Estimación a una temperatura de $T = 4^{\circ}\text{C}$ (277°K)

$$\ln \mu = 14,401 - 4496.6/T$$

Se reemplaza en la ecuación de Arrhenius el valor de $T = 277^{\circ}\text{K}$.

$$\ln \mu = 14.401 - 4496.6/277$$

$$\ln \mu = -1.832212996$$

$$\mu = 0.160058966 \text{ ufc/cm}^3$$

- Estimación a una temperatura de $T = -18^{\circ}\text{C}$ (255°K)

$$\ln \mu = 14,401 - 4496.6/T$$

Se reemplaza en la ecuación de Arrhenius el valor de $T = 255^{\circ}\text{K}$.

$$\ln \mu = 14.401 - 4496.6/255$$

$$\ln \mu = -3.23272549$$

$$\mu = 0,039449832 \text{ ufc/cm}^3$$

Según Jawaheer, B. et al., (2003), plantea un estándar de valor máximo permitido el cual oscilaría de 10^6 ufc/ml, es decir, que la vida útil microbiológica caducaría en cuanto se alcance este nivel de crecimiento en el producto final.

Cuadro. 19. Estimación de vida útil a diferentes temperaturas

	4°C	-18°C
$\ln(10^6)$	13,81551056	13,81551056
μ	0.160058966	0,039449832
$\ln(10^6)/\mu$ (horas)	86,31513082	350,2045473
Días	3.5	14.5

Elaboración propia

En el cuadro. 19, se observa que la muestra de pulpa de mango, sin adición de conservantes, por pruebas aceleradas a 4 °C es de 3.5 días y a -18°C 14. 5 días de vida útil, según Labuza (1994), menciona que aquellos alimentos que son considerados como perecederos generalmente poseen una vida útil de 7 días, y esta vida útil está limitada en la mayoría de los casos por el decaimiento bioquímico o microbiológico, mientras que los alimentos semiperecederos (conservas en general) la vida útil está limitada principalmente al deterioro fisicoquímico y/o sensorial antes que el microbiológico (McMeekin y Ross, 2002).

CONCLUSIONES

- Se determinó las características fisicoquímicas de la pulpa de mango variedad Haden antes ser sometida al tratamiento son: humedad 80.29 %, solidos solubles 16, cenizas 2.7 %, acidez 0.6030 %, pH 4.74, vitamina C 14.6 mg, índice de madurez (SS/acidez) 26.53. En el caso de las características fisicoquímicas de la pulpa de mango variedad Haden después de ser sometida a tratamiento térmico, se obtuvo una media entre sus resultados dependiendo de sus temperaturas (75, 85 y 95°C) dando como resultado lo siguiente: a 75 °C, humedad 85.77 %, solidos solubles 26.64, cenizas 1.9 %, acidez 0.4074 %, pH 3.70, vitamina C 10.9 mg; a 85 °C, humedad 85.32 %, solidos solubles 29.43, cenizas 1.87 %, acidez 0.3972 %, pH 3.75, vitamina C 9.96 mg y a 95 °C, humedad 87.10 %, solidos solubles 32.29, cenizas 1.77 %, acidez 0.3231 %, pH 3.74, vitamina C 9.39 mg y su conteo microbiológica es de 95 ufc/ml.
- Se determinó el contenido de vitamina C en la pulpa de mango, a temperatura de 75°C el contenido de vitamina C disminuyo de 14.6 mg a 7.7 mg, a temperatura de 85°C el contenido de vitamina C disminuyo de 14.6 mg a 6.2 mg y a temperatura de 95°C el contenido de vitamina C disminuyo de 14.6 mg a 5.1 mg. Describiendo una disminución de vitamina C conforme avanza el tiempo de tratamiento térmico.
- Se determinó el número de orden de reacción cinético de la vitamina C con ayuda de la ecuación de Arrhenius, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos de vitamina C a temperaturas de 75, 85 y 95 °C. en el cual mostró que el mejor ajuste a las tres temperaturas estudiadas corresponde a una cinética de degradación de orden de reacción uno, dando un coeficiente de regresión lineal de 0,9938.
- Se determinó la degradación térmica de vitamina C en la muestra con tratamiento térmico a 85°C, en la cual se obtuvo mayor contenido de vitamina C respecto a la muestra sometida a 95°C, ajustándose a un comportamiento de la velocidad de reacción de orden uno. Considerando su aspecto microbiológico en la pulpa de mango sin adición de conservantes, su periodo de vida útil es de 3.5 días a una temperatura de 4 °C, según pruebas aceleradas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos de investigación de otras variedades de pulpas de mango con la finalidad de observar el comportamiento cinético al ser sometidos a varias temperaturas con el fin de obtener datos exactos de su valor nutricional y sus características físico-químicas.
- Se sugiere que ante un exceso de producción o bajos precios internacionales del mango, se debería tener alternativas de valor agregado para su aprovechamiento agroindustrial. Se debería promocionar la pulpa de mango en la región Piura, con el fin de reemplazar a refrescos y bebidas artificiales que no son nutritivos. La promoción debería hacerla la oficina de la dirección regional de Piura.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, B., Montiel, M., Avanza, J. (2004). Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico. FACENA, 20:91-95.
- A.O.A.C (2000). Official methods of analysis. Association of official analytical chemistry. Washington, D. C.
- Bauerfeind, J. C. and Pinkert, D. M. (1974). Ascorbic acid and food technology. In: Johnson, A. H. and Peterson, M. S. (Eds.). "Encyclopedia of Food Technology". V.2. Westport, Connecticut. AVI Pub. Co. Inc.p: 67-75.
- Bree, V., Baetens, J., Samapundo, S., Devlieghere, F., Laleman, R., Vandekinderen, I., et al. (2012). Modelling the degradation kinetics of vitamin C in fruit juice in relation to the initial headspace oxygen concentration. In Food chemistry (pp. 134, 207-214).
- Dalgaard, P., Ross, T. and S. Tienungoon (2000). Predictive modelling of the growth and survival of *Listeria* in fishery products. International Journal of Food Microbiology. 62(3): p. 231-245.
- Eskin, N., & Henderson, A. M. (1971). Biochemistry of foods. New york.
- Gallardo Luciano (2014). Elaboración y caracterización de un zumo concentrado a partir de uva de mesa (*VitisVinifera*). Tesis para obter el grado de Ingeniero Agroindustrial e Industrias Alimentarias, Facultad de Ingenieria Industrial. Universidad Nacional de Piura.
- Ganong. W. (1980). Manual de Fisiología Médica. Santa Monica College. Vitamin-C Analysis. Chemistry 11. pag. 272-273.

- Gaviria Daniel (2014). Ficha tecnica de pulpa de mango congelado, visto en:
[www. irp-cdn.multiscreensite.com](http://www.irp-cdn.multiscreensite.com)
- Guerrero, D., Farfan, R., Garrido, F., Ipanaque, J., Yovera, L. y Yovera, E. (2012). Diseño del proceso industrializado del mango en almibar. Facultad de Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura.
- Harry, Hart, Leslie, Fischer (1991). Análisis moderno de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, España, pág 553.
- Jawaheer, B., & Goburdhun, D. &. (2003). Effect of processing and storage of guava into jam and juice on the ascorbic acid content. En plant foods for human nutrition (págs. 58, 1-12).
- Johntone, H., (1984). Análisis Moderno de los Alimentos. Acriba, Zaragoza, p125-134.
- Labuza, T. P. (1982). “Shelf-Life. Dating of Foods”. Westport, Connecticut. Food and Nutrition Press Inc. p: 41-88.
- Labuza, T.P., 1994. Determination of the Shelf Life of Foods. Article inedited.
- Labuza, T.P., Fu, B. And Taoukis, P. (1993). Prediction for shelf life and safety of minimally processed CAP/ MAP chilled foods: a review. J. Food Prot., 55-74.
- Labuza, T. P. and Riboh, D. (1982). Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. Food Technol., 36(10): 66-71.
- Matthews, R. F. (1978). Ascorbic acid, dehydroascorbic acid and diketogulonic acid in frozen green peppers. En J. food sci., (págs. 532-534).

- McMeekin, T. A. and T. Ross (2002). Predictive microbiology: providing a knowledge-based framework for change management. *International Journal of Food Microbiology*. 78(1–2): p. 133-153.
- Minaya, A. C. (1999). El mango en el peru y sus vinculos con el mercado mundial. Venezuela.
- Miranda L. y Castillo P. (2001). Cinética de la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá. Revisado el 20 de junio del 2015, recuperado:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2054/1/4073.pdf>
- Ocampo R. et al. (2008). Curso práctico de química orgánica. Enfocado a biología y alimentos. pp. 122-124. primera edición.
- Ordoñez S. L. E., Ospina P. M. A. y Rodríguez R. D. X. (2013). En su artículo denominado Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava L.*). Revisado 21 de junio del 2015, Recuperado:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179444492013000200006&script=sci_arttext.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2010). Producción de productos alimentarios y agrícolas. Recuperado de:
<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- Peña, M. (2004). Tratamiento cuarentenario contra la mosca mediterráneo (Ceratitis capitata) en mangos variedad Haden (*Manguiífera indica L.*) con irradiación gamma (Co-60). Tesis para optar el grado de magister en ciencia de los alimentos, facultad de farmacia y bioquímica.
- Potter, N. 1978. La ciencia de los alimentos. Ed. Harla. México. pp. 260-283.

- Quispe, F. M. (1988). Estudio del efecto de la irradiación gamma en la conservación del mango de la variedad Haden, almacenado en refrigeración.
- Saguy, I.; Kopelman, I. J. and Mizrahi, S. (1978). Simulation of ascorbic acid stability during heat processing and concentration of grapefruit juice. J. Food Proc. Eng., 2: 213- 225.
- Senmache, Jose. y Alban, Alberto. (2002). Manual del cultivo del mango. 2da edicion. Piura, Peru.
- Singh, R. P.; Heldman, D. R. and Kirk, J. R. (1976). Kinetics of quality degradation: Ascorbic acid oxidation in infant formula during storage. J. Food Sci., 41: 304-307.
- Suntornsuk, L.; Gritsanapum, W.; Nilkamhank,S. & Paochom, A. (2002). Quantitation of vitamin C content in herbal juice using direct titration. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 28, 849-855.
- Tejedor, W., Ruiz, P., Rodrigo M. y Martínez, A., (2000). Microbiología Predictiva. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC). Apartado de Correos 73, 46100 Burjassot, Valencia, España: p. 31.
- UNALM (2010). Manual de tecnologia de alimentos. Facultad de Industrias Alimentarias. Lima, Perú.
- Waletzko, P. and Labuza, T. P. (1976). Accelerated shelf-life testing of an intermediate moisture food in air and in oxygen free atmosphere. J. Food Sci., 41: 1338-1340.

- Zamudio B, Imán; Correa, Sixto Luz; Sotero Solís, Víctor; Oliva Cruz, Carlos (2011). Contenido de vitamina C en frutos de Camú Camú *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, en cuatro estados de maduración, procedentes de la Colección de Germoplasma del INIA Loreto, Perú *Scientia Agropecuaria*, vol. 2, núm. 3, pp. 123-130 Universidad Nacional de Trujillo Trujillo, Perú.

Anexos

Imagen. N°1: Materia Prima mango variedad Haden



Elaboración propia

Imagen N° 2: Pelado del mango



Elaboración propia

Imagen N° 3: Pulpa de mango



Elaboración propia

Imagen N° 4: Muestra de mango para determinar humedad



Elaboración propia

Imagen N° 5: Determinación de cenizas en muestra de mango



Elaboración propia

Imagen N° 6: Muestras de mango para determinar vitamina C



Elaboración propia

Imagen N° 7 Muestras de mango para los análisis microbiológicos



Elaboración propia

Imagen N° 8: Acidéz titulable en muestra de mango



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 9: Materia seca de la pulpa mango



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 10: Muestras secas de mango



Elaboración propia

Imagen N° 11: Cenizas de las muestras de mango



Elaboración propia

Imagen N°12: Crecimiento de microorganismos a 25 °C y un tiempo de 5 min.



Elaboración propia

Imagen N°13: Crecimiento de microorganismos a 30 °C y un tiempo de 15 min.



Elaboración propia

Imagen N°14: Crecimiento de microorganismos a 35 °C y un tiempo de 20 min.



Elaboración propia

Imagen N°15: Muestra en condiciones de 25°C



Elaboración propia

Imagen N°16: Muestra en condiciones de 30°C



Elaboración propia

Imagen N°17: Muestra en condiciones de 35°C



Elaboración propia